

Digitalizacija i strukturno modeliranje potpovršinskih odnosa u Savskoj depresiji, šira okolica polja Stružec

Baketarić, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:573414>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-22**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO – GEOLOŠKO – NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

**DIGITALIZACIJA I STRUKTURNO MODELIRANJE POTPOVRŠINSKIH
ODNOSA U SAVSKOJ DEPRESIJI, ŠIRA OKOLICA POLJA STRUŽEC**

Diplomski rad

Tomislav Baketarić

G150

Zagreb, 2015.

Veliku zahvalnost, u prvom redu, dugujem svojoj mentorici prof. dr. sc. Josipi Velić, profesorici emeriti na predloženoj temi i ukazanom povjerenju, znanstvenim i stručnim savjetima, te na ustupljenim podacima korištenima pri izradi diplomskog rada. Posebno se zahvaljujem dr. sc. Marku Cvetkoviću na ukazanoj stručnoj pomoći, savjetima, idejama, te posebno na velikom strpljenju i vjeru u rad koju mi je pokazao. Također zahvalu upućujem i Rudarsko - geološko – naftnom fakultetu u Zagrebu što mi je osigurao adekvatno mjesto i opremu potrebnu za kvalitetno izrađivanje ovog rada.

Zahvaljujem se svojim roditeljima Stipanu i Jasmini, bratu Ivanu i sestri Biserki koji su me tijekom čitavog mog školovanja podupirali i poticali moju težnju k ostvarivanju sve viših i viših ciljeva. Posebno se želim zahvaliti svojoj djevojci Mariji Podbojec koja me je uvijek podržavala i motivirala, te osobito i na njezinoj stručnoj pomoći.

I would also like to thank Schlumberger Company for providing the Petrel software to Faculty without which this Master's thesis could not have been made.

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

DIGITALIZACIJA I STRUKTURNO MODELIRANJE POTPOVRŠINSKIH ODNOSA U SAVSKOJ
DEPRESIJI, ŠIRA OKOLICA POLJA STRUŽEC

TOMISLAV BAKETARIĆ

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Sažetak

U okviru ovog diplomskog rada digitalizirani su i obrađeni podatci iz već postojećih strukturnih karata područja zapadnog dijela Savske depresije (Panonski bazenski sustav), dobivenih na temelju dotadašnjih površinskih geoloških istraživanja, geofizičkih istraživanja, bušenja i njihove interpretacije. Strukturne karte napravljene su po plohama šest elektrokarotažnih repera i markera koji dijele litostratigrafske jedinice, a to su: „Tg“, „Rs7“, „Rs5“, „Z“, „Rφ“, „α“. Područje modeliranja prekriva 1053,2 km² površine, a nalazi se u središnjem dijelu Hrvatske, najvećim dijelom u Sisačko – moslavačkoj županiji. Digitalizacija i obrada podataka napravljena je pomoću računalnih programa ArcMap 10.1 te Petrel™ 2013. Prikazane su prednosti i pogreške koje nastaju tijekom izrađivanja geomodela. Model jasno pokazuje odnose između glavnih i sporednih rasjeda, geološke strukture, strukturne zamke te utjecaj rasjeda na oblikovanje ploha u podzemlju. Napravljeni trodimenzionalni prikazi strukturnih odnosa, razvoja geoloških struktura po različitim plohama EK – repera te pomaci terena uzorkovani rasjedima uvelike obogaćuju sliku i razumijevanje dijela podzemlja zapadnog dijela Savske depresije. Računanjem prosječne vrijednosti odstupanja modela od ručno izrađenih strukturnih karata, koje iznosi 0,65 %, utvrđene su velika točnost i preciznost same obrade podataka.

Ključne riječi: polje Stružec, Savska depresija, strukturno i potpovršinsko modeliranje, digitalizacija

Završni rad sadrži: 52 stranice, 44 slike, 1 tablica, 9 priloga i 35 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Prof. dr. sc. Josipa Velić, profesorica emerita, odlukom dekana odobreno mentorstvo rada

Pomoć pri izradi: Dr. sc. Marko Cvetković, znanstveni novak – poslijedoktorand RGNF

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Josipa Velić, profesorica emerita

Izv. prof. dr. sc. Tomislav Malvić, RGNF i znanstveni savjetnik u INA

Doc. dr. sc. Dario Perković, RGNF

Dr. sc. Marko Cvetković, znanstveni novak – poslijedoktorand RGNF

Datum obrane: 13. srpnja 2015., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering

DIGITALIZATION AND STRUCTURAL SUBSURFACE MODELLING OF SAVA DEPRESSION,
WIDER SURROUNDING OF STRUŽEC OIL FIELD

TOMISLAV BAKETARIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

The goal was the accurate digitalization and subsurface modelling of the paper-based geological maps. The research area covers approximately 1053 square kilometres and is located in Croatian part of Pannonian Basin System, Sava Depression, i.e. in the surrounding of Stružec Oil Field. Data input for the structural analysis were structural maps which were previously made in the 1980. Set included five structural maps based on regional e-log markers and one map of pre-Neogene surface. All were digitalized in program ArcGIS, and later modeled in Petrel. Structural contours and total of 134 faults were exported into Petrel software where they were further processed and regrouped. From such digitalized and processed data the geological model (geomodel) was made using complex fault framework. The study concerned the advantages and errors that occur during creation of such geomodel. It clearly displays relations between major and minor faults and fault slips, geological structures and structural traps in 3D (e.g. anticline of the Stružec Field). Another advantage is multicolored presentation of depths and faults, which enables easier recognition of geological structures and potential traps for hydrocarbons. Errors and issues can occur during digitalization of contour lines, selection of the appropriate algorithm and those ones that arise when model is created. Low error between two approaches indicates accuracy of digitalization of data and subsurface modelling.

Keywords: Stružec Field, Sava Depression, subsurface modelling, handmade interpolation, digitalization

Thesis contains: 52 pages, 44 figures, 1 table, 9 enclosures and 35 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology, and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: PhD Josipa Velić, Professor Emerita at RGNF, mentorship of Master's thesis approved by the Dean of the Faculty

Technical support and assistance: Dr. sc. Marko Cvetković, Senior research assistant RGNF

Reviewers: PhD Josipa Velić, Professor Emerita

PhD Tomislav Malvić, Associate Professor at RGNF and Expert at INA d.d.

PhD Dario Perković, Assistant Professor at RGNF

PhD. Marko Cvetković, Senior research assistant at RGNF

Date of defense: 13th of July, 2015. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. POVIJEST ISTRAŽIVANJA.....	3
3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE MODELIRANOG PODRUČJA	5
3.1. Postanak i građa hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava	5
3.2. Stratigrafija i litološka građa podzemlja područja istraživanja.....	7
3.3. Taložni megaciklusi	12
3.4. Strukturno – tektonski odnosi istraživanog područja	15
3.5. Naftogeološke značajke i vrste zamki.....	17
3.5.1. Naftno i plinsko polje Stružec.....	18
3.5.2. Naftno i plinsko polje Žutica.....	19
3.5.3. Plinsko polje Okoli.....	19
4. METODOLOGIJA	21
4.1. PC Windows aplikacija ArcMap	21
4.2. Obrada podataka u računalnom programu ArcMap	22
4.3. Računalni program Petrel™ 2013	24
4.4. Obrada podataka u računalnom programu Petrel™ 2013	25
5. REZULTATI	36
5.1. Strukturni okvir.....	36
5.2. Potpovršinski model (karte).....	37
5.3. Izračunavanje statističkog odstupanja modela na mreži od 660 točaka između modeliranih i polaznih karata.....	46
6. ZAKLJUČAK.....	48
7. LITERATURA	49

POPIS SLIKA

<i>Slika 1-1. Područje istraživanja.....</i>	<i>2</i>
<i>Slika 1-2. Karta eksploatacijskih polja.....</i>	<i>2</i>
<i>Slika 3-1. Shematski profil kroz Savsku depresiju pravca JZ – SI (PRELOGOVIĆ et al., 1998.; LUČIĆ et al., 2001.; VELIĆ et al., 2011).....</i>	<i>6</i>
<i>Slika 3-2. Razvrstavanje struktura i rasjeda hrvatskog dijela Panonskog bazena (PRELOGOVIĆ et al., 1998.; LUČIĆ et al., 2001.; VELIĆ et al., 2011).....</i>	<i>7</i>
<i>Slika 3-3. Odnos EK–markera i repera, litostratigrafskih i kronostratigrafskih jedinica u Savskoj depresiji (VELIĆ et al., 2011).....</i>	<i>9</i>
<i>Slika 3-4. Pregledna paleogeološka karta podloge neogensko – kvartarnih naslaga zapadnog dijela Savske depresija (VELIĆ, 1980).....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 3-5. Karta izopaha prvog megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003).....</i>	<i>13</i>
<i>Slika 3-6. Karta izopaha drugog megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003).....</i>	<i>14</i>
<i>Slika 3-7. Karta izopaha trećeg megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003).....</i>	<i>15</i>
<i>Slika 3-8. Pregledna tektonska karta zapadnog dijela Savske depresije (VELIĆ, 1980)....</i>	<i>17</i>
<i>Slika 4-1. Sučelje programa ArcMap.....</i>	<i>21</i>
<i>Slika 4-2. Granica istražnog područja prikazana na strukturnoj karti po plohi markera „α'“.....</i>	<i>22</i>
<i>Slika 4-3. Obradene i digitalizirane stratoizohipse, rasjedi te granice rasprostiranja EK – markera napravljene na podlozi strukturne karte po plohi markera „Rs7“.....</i>	<i>24</i>
<i>Slika 4-4. Sučelje računalnog programa Petrel™ 2013.....</i>	<i>25</i>
<i>Slika 4-5. Površina po EK–markeru „α'“.....</i>	<i>26</i>
<i>Slika 4-6. Površina po EK–markeru „Rϕ“.....</i>	<i>26</i>
<i>Slika 4-7. Površina po EK–markeru „Z'“.....</i>	<i>27</i>

<i>Slika 4-8. Površina po EK–markeru „Rs5“</i>	<i>27</i>
<i>Slika 4-9. Površina po EK–markeru „Rs7“</i>	<i>28</i>
<i>Slika 4-10. Površina po EK–reperu „Tg“</i>	<i>28</i>
<i>Slika 4-11. Primjer rasjeda digitaliziranih po EK-reperu Tg nakon što su translaticirani na odgovarajuću površinu</i>	<i>29</i>
<i>Slika 4-12. Rasjedi po svima plohama translaticirani na njihove odgovarajuće površine.....</i>	<i>30</i>
<i>Slika 4-13. Rasjed broj 10 s pripadajućim poligonima (sadržaj mape R10).....</i>	<i>31</i>
<i>Slika 4-14. Prikaz sadržaja pet različit mapa koje predstavljaju rasjede.....</i>	<i>31</i>
<i>Slika 4-15. Fault framework modeling dijaloški okvir.....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 4-16. Rasjed 134 i Rasjed 135.....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 4-17. Izrada modela horizonata – dijaloški okvir.....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 4-18. Primjeri pogrešaka koje program javlja nakon izrade modela.....</i>	<i>35</i>
<i>Slika 4-19. „Kinked or sharp truncation“ – vrlo zakrivljenje i nepravilne plohe rasjeda.....</i>	<i>35</i>
<i>Slika 5-1. Strukturni okvir.....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 5-2. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK–repera „Tg“</i>	<i>37</i>
<i>Slika 5-3. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK–markera „Rs7“</i>	<i>38</i>
<i>Slika 5-4. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK–markera „Rs5“</i>	<i>38</i>
<i>Slika 5-5. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK-markera „Z'“</i>	<i>39</i>
<i>Slika 5-6. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK-markera „Rϕ“</i>	<i>39</i>
<i>Slika 5-7. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK-markera „α“</i>	<i>40</i>
<i>Slika 5-8. 3D zona terena po plohi EK-repera „Tg“</i>	<i>41</i>
<i>Slika 5-9. Antiklinala Martinska Ves po plohi EK-markera „Rs7“</i>	<i>41</i>
<i>Slika 5-10. Antiklinala Žutica po plohi EK – markera „Rs5“</i>	<i>42</i>

<i>Slika 5-11. Dio antiklinale Voloder po plohi EK-markera „Rs5“</i>	42
<i>Slika 5-12. Antiklinala Vezišće</i>	43
<i>Slika 5-13. Antiklinala Okoli po plohi EK-markera „Rs5“</i>	43
<i>Slika 5-14. Antiklinala naftnoplinskog polja Bunjani po plohi EK-markera „Rs7“</i>	44
<i>Slika 5-15. Antiklinala naftno-plinskog polja Stružec po plohi EK-repera i markera: a) „Tg“, b) „Rs7“, c) „Rs5“ d) „Z‘“, e) „Rφ“, f) „a‘“</i>	45

POPIS TABLICA

<i>Tablica 5-1. Srednje vrijednosti postotka odstupanja modela od ručno izrađenih strukturnih karata.....</i>	<i>46</i>
---	-----------

POPIS PRILOGA

PRILOG I. *Strukturna karta po plohi EK-repera „Tg“*

PRILOG II. *Strukturna karta po plohi EK-markera „Rs7“*

PRILOG III. *Strukturna karta po plohi EK-markera „Rs5“*

PRILOG IV. *Strukturna karta po plohi EK-markera „Z“*

PRILOG V. *Strukturna karta po plohi EK-markera „Rφ“*

PRILOG VI. *Strukturna karta po plohi EK-markera „α“*

PRILOG VII. *Profil A-A'*

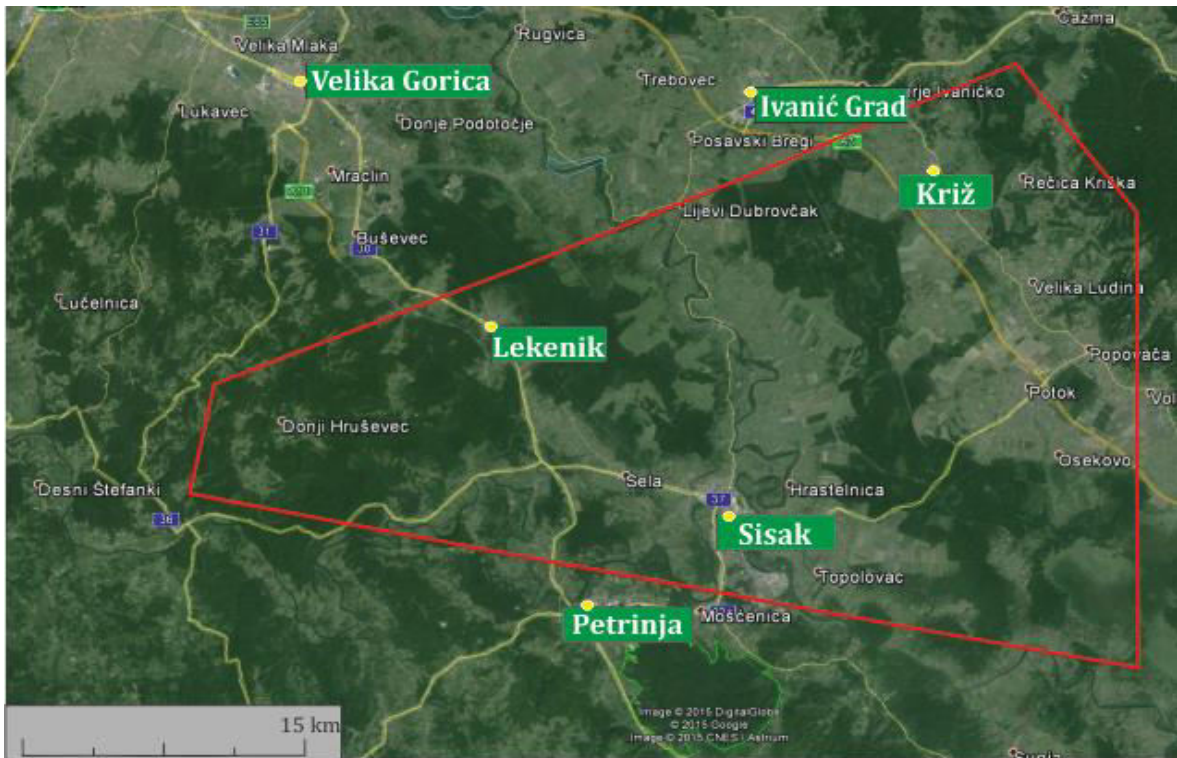
PRILOG VIII. *Profil B-B'*

PRILOG IX. *Profil C-C'*

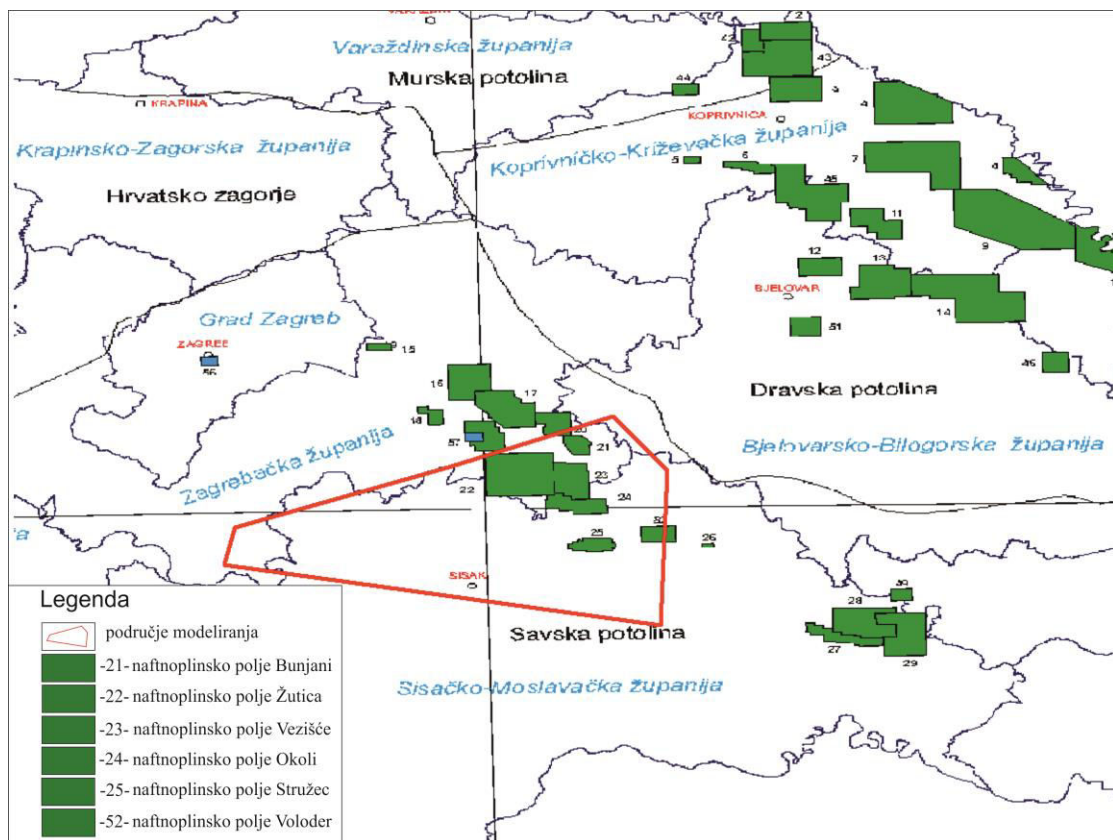
1. UVOD

U ovome radu obrađeno je i digitalizirano šest strukturnih karata zapadnog dijela Savske depresije (Panonski bazenski sustav) iz kojih su napravljeni trodimenzionalni modeli podzemlja i rasjeda. Strukturne karte koje su korištene kao glavni izvor podataka izradila je VELIĆ (1980), a napravljene su po plohama šest elektrokarotažnih markera i repera koji dijele litostratigrafske jedinice - formacije. Oni su: „Tg“, „Rs7“, „Rs5“, „Z“, „Rφ“, „α“. Područje modeliranja nalazi se u središnjem dijelu Hrvatske, najvećim dijelom u Sisačko – moslavačkoj županiji. Izrađen je trodimenzionalni model s pripadajućim rasjedima po plohama EK–markera i repera. Digitalizacija i obrada podataka napravljena je pomoću računalnih programa ArcMap 10.1 te Petrel™ 2013. Prikazane su prednosti i pogreške koje nastaju tijekom izrađivanja geomodela. Model jasno pokazuje odnose između glavnih i sporednih rasjeda, geološke strukture, strukturne zamke, te utjecaj rasjeda na oblikovanje površina u prostoru. Cilj ovog rada nije bila strukturna reinterpretacija već digitalizacija postojećeg strukturnog rješenja.

Područje modeliranja prekriva 1053,2 km² površine. Obuhvaća sjeverni dio Sisačko – moslavačke županije, južne dijelove Zagrebačke županije te manji jugozapadni dio Bjelovarsko – bilogorske županije. Regionalno-geološki, pripada Panonskom bazenskom sustavu, zapadnom dijelu Savske depresije. Važnija mjesta na području su Sisak, Lekenik i Križ (*Slika 1-1*). Ovim dijelom protječu rijeke Sava, Lonja i manjim dijelom Kupa. Na sjeveroistočnom dijelu nalaze se obronci Moslavačke gore. Na ovom području nalazi se šest naftno-plinskih polja: Stružec, Bunjani, Žutica, Vezišće, Okoli te Voloder (*Slika 1-2*).



Slika 1-1. Područje istraživanja



Slika 1-2. Karta eksploatacijskih polja

2. POVIJEST ISTRAŽIVANJA

Interes za istraživanje Savske depresije kao dijela Panonskog bazenskog sustava oduvijek je bio velik, ne samo zbog ležišta ugljikovodika - nafte i plina koji se ovdje nalaze, nego i zbog značajnih zaliha podzemne vode u plićim dijelovima depresije. Regionalnim gravimetrijskim mjerenjima sjeverozapadne Hrvatske u razdoblju do 1940. do 1942. godine otkrivena je gravimetrijska struktura Križ pravca pružanja SZ-JI, u kojoj su izdvojena naftna ležišta, tj. polja Šumečani 1948. godine i Bunjani 1952. godine. 1960 – ih, 70 – ih i 80 –ih godina objavljen je velik broj radova vezan za ovu depresiju. Posebno su važna geološka, geofizička i geomorfološka istraživanja 1970 – ih godina koja su dala velik broj podataka, ali i elemenata za detaljno dubinsko kartiranje.

Jedan od značajnih doprinosa te glavni izvor podataka za ovaj rad bio je doktorski rad prof. dr. sc. Josipe Velić pod naslovom „Geološka građa zapadnog dijela Savske depresije“ 1980. godine. U doktorskom radu je između ostaloga napravljeno i strukturalno kartiranje podpovršine po plohama elektrokarotaznih repera i markera Tg, Rs7, Rs5, Z', R ϕ i α' . Seizmička istraživanja na ovom području započela su još 1952. godine. Podatke geoelektričnih ispitivanja za Savsku depresiju obradio je KOVAČEVIĆ (1961), a gravimetrijske i geomagnetske promjene obradio je RIMAC (1962). Treba napomenuti da je velik broj radova i studija na ovom području doprinio i prethodio izradi strukturalnih karata iz 1980. godine.

ŠIMON (1963) iznosi detaljnu litostratigrafsku podjelu u Savskoj depresiji. KRANJEC (1972) je podijelio naftna i plinska polja u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava prema tektonogeni i smještaju unutar depresije. Hrvatsku litostratigrafsku nomenklaturu je definirao ŠIMON (1973). Cjelovitu litostratigrafsku razradbu za područje hrvatskog dijela PBS-a (Panonski bazenski sustav) prema depresijama prikazuje ŠIMON (1980). PAVELIĆ (2001) obradio je paleografiju Paratethys – a tijekom karpata i badena. Radovi VELIĆ et al. (2002) i SAFTIĆ et al. (2003) uvelike su poslužili u razumijevanju tri taložna megaciklusa. Od novije literature važni su pregledni radovi MALVIĆ & VELIĆ (2011) te sveučilišni udžbenik „Geologija ležišta nafte i plina“ (VELIĆ, 2007). Interna skripta SAFTIĆA & MALVIĆA (2008) poslužila je za usporedbu kronostratigrafskih, litostratigrafskih i biostratigrafskih jedinica te smještajem elektrokarotaznih markera i

repera unutar njih. SAFTIĆ & MALVIĆ (2008) obradili su i same značajke i svrhu pojedinih elektokarotaznih markera. ŠPELIĆ et al. (2014) napravili su karte po plohama EK-repera Tg i EK-markera Rs7 i Rs5 iz prijašnjih podataka sa ručno izrađenih karata. Usporedili su novoizrađene i stare karte. Na digitaliziranim kartama nisu ucrtani rasjedi.

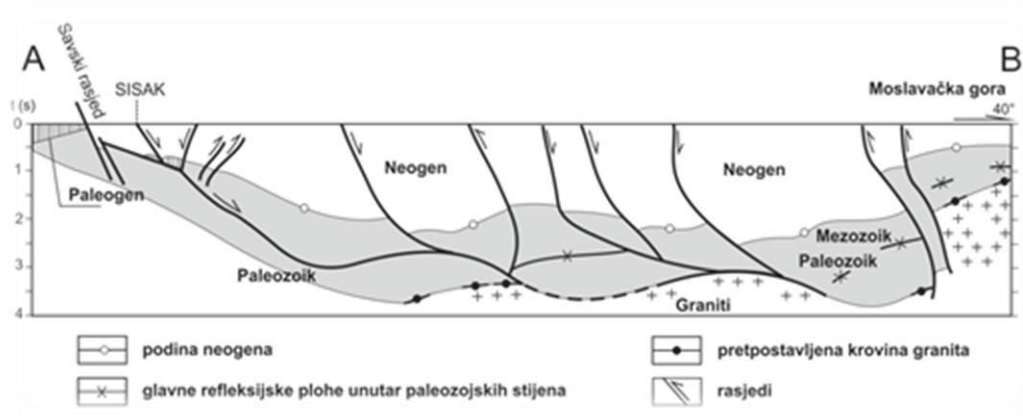
3. GEOLOŠKE ZNAČAJKE MODELIRANOG PODRUČJA

Hrvatskoj pripada jugozapadni dio PBS-a. S obzirom na građu, sastav i geotektonski položaj u panonskom dijelu Hrvatske razlučene su sljedeće depresije: Dravska, Savska, Murska, i Slavonsko – srijemska. Granice između pojedinih depresija predstavljaju brdsko – gorski masivi.

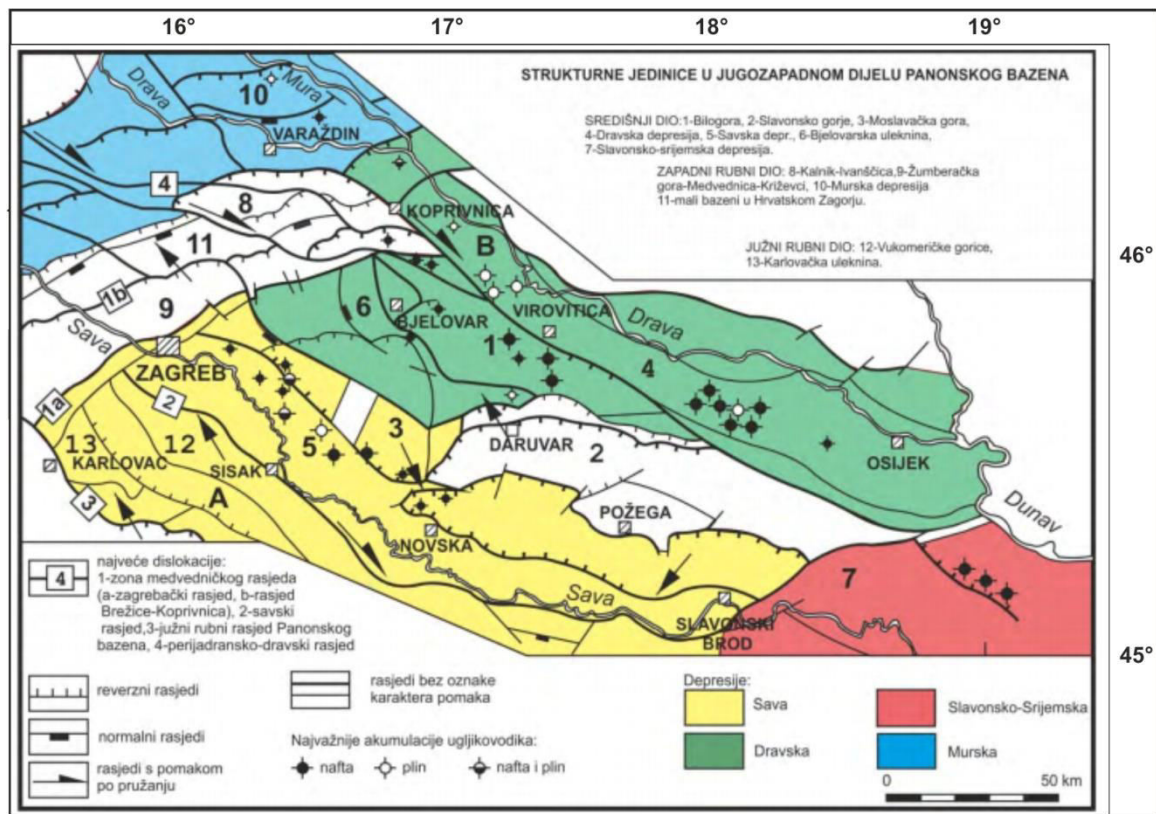
3.1. Postanak i građa hrvatskog dijela Panonskog bazenskog sustava

Kako je već napisano, hrvatski dio PBS-a sastoji se od nekoliko depresija, a njegov postanak vezan je uz alpsku orogonezu. Neki su taložni bazeni u različitim geološkim razdobljima imali zajednički razvoj, a u nekim zaseban. Prema tome, strukturne su jedinice objedinjene u tri veće strukturne zone: zapadni rubni dio (od zone medvedničkog rasjeda pa sve dalje prema sjeverozapadu), južni rubni dio (od Karlovca do Slavanskog Broda – južno od Savskog rasjeda) i središnji dio (Savska i Dravska depresija) (VELIĆ, 2007). Kako se istraživano područje nalazi u zapadnom dijelu Savske depresije u daljnjem tekstu će veći dio biti posvećen razvoju središnje strukturne zone. Prva faza strukturnih promjena događala se u rasponu oligocen – rani miocen i uzrokovala je stvaranje nekoliko manjim *pull-apart* bazena nastalih usjedanjem duž aktivnih velikih desnih transkurentnih rasjeda koji se u jugozapadnom dijelu PBS-a pružaju pravcem SZ – JI (SAFTIĆ et al, 2003). U području Savske depresije u otnangu započinje taloženje slatkovodnih jezerskih naslaga (PAVELIĆ, 2001). Tijekom ranog i srednjeg miocena (egenburg – baden) dolazi do promjene orijentacije regionalnog stresa na sjever – sjeveroistok – jug – jugozapad koja aktivira lijeve transkurentne rasjede. Tada se počela otvarati Savska depresija. Regionalni, prvi transtenzijski događaj u PBS-u započeo je u badenu (ĆORIĆ et al., 2009; MALVIĆ & VELIĆ, 2011). U badenu nastankom velikih dubomorskih područja talože se lapori i paralelno s njima u plitkovodnim sredinama talože se pješčenjaci i biogeni vapnenci (MALVIĆ & VELIĆ, 2011). Prva transpresijska faza odvijala se u sarmatu, a u pojedinim dijelovima PBS-a i u donjem panonu (MALVIĆ & VELIĆ, 2011). U sarmatu dolazi i do

pada salineta, kao uvod u stvaranje brakičnih sredina tijekom panona i posebice slatkovodnih za vrijeme pontu (MALVIĆ, 2006). Druga transtenzijska faza odvijala se već u donjem panonu, a u cijelome prostoru depresije u gornjem panonu te donjem pontu (MALVIĆ & VELIĆ, 2011). U panonu je prestala subdukcija u Vanjskim Karpatima i tako započinje termalno spuštanje kore u Panonskom bazenu koja rezultira taloženjem velikih količina sedimenata, uglavnom lapora i pješčenjaka, na širokom području, prekrivajući tako i dotadašnje rubove Savske depresije. Druga transpresijska faza započela je u gornjem pontu a traje sve do danas (MALVIĆ & VELIĆ, 2011). Ovu fazu karakterizira stvaranje strukturnih odnosa obilježenih orijentacijom regionalnog stresa sjever – jug, desni transkurentni pomaci i kompresija (VELIĆ, 2007). Od rasjeda najvažniji su južni rubni rasjed PBS-a i Savski rasjed prikazani na *Slici 3-1* i *Slici 3-2*.



Slika 3-1. Shematski profil kroz Savsku depresiju pravca JZ – SI (PRELOGOVIĆ et al., 1998.; LUČIĆ et al., 2001.; VELIĆ et al., 2011)



Slika 3-2. Razvrstavanje struktura i rasjeda hrvatskog dijela Panonskog bazena (PRELOGOVIĆ et al., 1998.; LUČIĆ et al., 2001.; VELIĆ et al., 2011)

3.2. Stratigrafija i litološka građa podzemlja područja istraživanja

U građi Panonskog bazenskog sustava prisutna su dva različita kompleksa stijena: magmatsko – metamorfni te manjim dijelom sedimentni kompleks mezozojske i paleozojske starosti i sedimentni pokrov (bazenska ispuna) kojeg čine stijene neogena i kvartara (VELIĆ, 2007). Stratigrafski odnosi u podzemlju na području hrvatskog dijela PBS-a definirani su prvenstveno litostratigrafskom podjelom (ŠIMON, 1973). U ovome poglavlju opisane su litostratigrafske jedinice - formacije približno korelirane s kronostratigrafskim jedinicama. Prema VELIĆ (2007) temelj pri uspostavljanju litostratigrafskih jedinica čine jasno vidljivi objektivni litološko – fizikalni kriteriji. Oni čine temelj i u njihovom prostornom praćenju prema poznatim metodama litostratigrafske korelacije. Među najvažnije njihove elemente ubrajamo praćenje bočnog kontinuiteta, litološku i karotažnu istovjetnost, položaj u stratigrafskom slijedu, konkordantne i

diskordantne te strukturne odnose (ŠIMON, 1973; VELIĆ, 2007). Uz uspješno prepoznavanje tih „ključnih“ slojeva – elektrokarotažnih markera provedena je korelacija formacija unutar depresije. EK–markeri se prepoznavaju kao identični motivi na krivuljama specifične otpornosti u sklopu elektrokarotažnih dijagrama, odnosno prema ponavljanju nizova otklona jednakih vrijednosti otpornosti (VELIĆ, 2007). VRBANAC (2002) je došao do zaključka da se radi o odrazu promjena prosječnog granulometrijskog sastava čestica i načina njihova slaganja, što dalje utječe na vrijednost poroznosti i propusnosti naslaga taloženih u jednakim uvjetima i u isto vrijeme. Temeljem tih spoznaja EK–markeri imaju i približan značaj kronohorizonta. Fosilni sastav naslaga načelno je potvrdio značaj EK–markera kao kronohorizonta (VELIĆ, 2007). Prema MALVIĆ & SAFTIĆ (2008) markerni slojevi su karakterizirani jasnom prepoznatljivošću i lakim praćenjem svojstava na nekom određenom području. Ta svojstva ih istovremeno razlikuju i odvajaju od podinskih i krovinskih naslaga. Njihova korelativna svojstva počivaju na činjenici da su iznimno male debljine, ali i velikog bočnog rasprostiranja. EK-reper „Tg“ (temeljno gore) leži na dodiru metamorfnih, magmatskih i/ili sedimentnih stijena starijih od neogena i on označava erozijsku diskordanciju (stratigrafsku prazninu). Prema VELIĆ (2007) EK-markeri Rs5 i Rs7 imaju dvojaki karakter: prema dosadašnjoj praksi oba markera prihvaćaju se i kao kronohorizonti i kao erozijske diskordancije. Odnos EK-repera, litostratigrafskih i kronostratigrafskih jedinica u Savskoj depresiji pokazana je na *slici 3-3*.

KRONOSTRATIGRAFSKE JEDINICE ZA SREDIŠNJI DIO PARATETHYS-A RCMNS (1967-1985)				Neogenski megaciklusi	EK-reperi i EK-markeri	LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE U SAVSKOJ DEPRESIJI DOKAZANE NA NAFTNOM POLJU KLOŠTAR				
K E N O Z O I K	HOLOCEN			3. megaciklus	α'	FORMACIJA LONJA				
	PLEISTOCEN									
	PLIOCEN	ROMANJ								
		DACIJ								
	M I O C E N	GORNJI	PONT	GORNJI	2. megaciklus	R_{ϕ}	FORMACIJA ŠIROKO POLJE			
				DONJI			FORMACIJA KLOŠTAR IVANIĆ			
		PANON	GORNJI	GORNJI			Z'	FORMACIJA IVANIĆ-GRAD		
				DONJI			Rs5	FM. PRKOS		
		SREDNJI	DONJI	SARMAT			1. megaciklus	Rs7	GRUPA MOSLAVAČKA GORA	FORMACIJA PREČEC
				BADEN						
	KARPAT									
	OTNANG EGENBURG									
	OLIGO-MIOCEN	EGER								
	MEZOZOIK					pTc	TEMELJNO GORJE			
	PALEOZOIK					Tg				

Slika 3-3. Odnos EK–markera i repera, litostratigrafskih i kronostratigrafskih jedinica u Savskoj depresiji (VELIĆ et al., 2011)

Istraživano područje sadrži stijene od paleozoika pa sve do gornjeg kenozoika, kvartara, a odijeljene su sa šest EK-markera i repera u litostratigrafske jedinice - formacije.

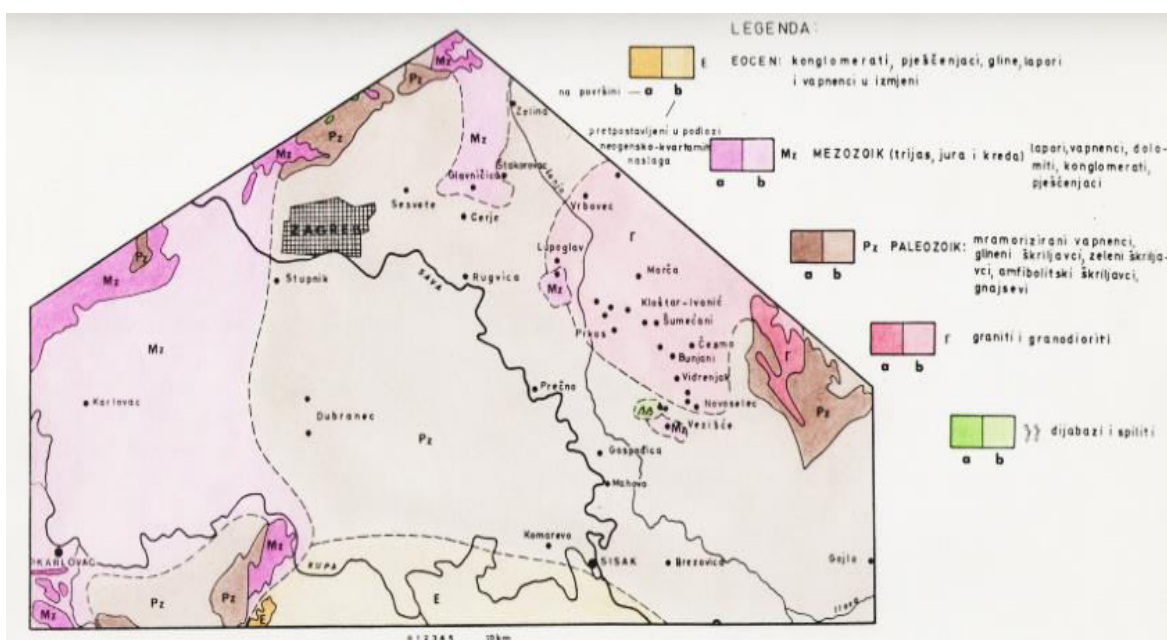
Prema preglednoj paleogeološkoj karti podloge neogensko – kvartarnih naslaga zapadnog dijela Savske depresije u mjerilu 1:500 000 (VELIĆ, 1980), neogensko – kvartarnu podlogu na području istraživanja predstavljaju stijene paleozojske i mezozojske starosti koje će u daljnjem tekstu detaljnije biti opisane od starijih prema mlađima (*Slika 3-4.*). To su dakle stijene koje se nalaze ispod EK-repera „Tg“.

Paleozojske stijene imaju najveću rasprostranjenost na modeliranom području u podlozi neogensko – kvartarnih taložina, a na površini se mogu naći na sjeveroistočnom dijelu. Na površini terena, u istom dijelu istraživanog područja mogu se također naći i graniti i granodioriti Moslavačke gore, koji su prema TAJDER (1970) vjerovatno dio veće mase, štoka ili dijela batolita. Paleozojske stijene u podlozi predstavljaju mramorizirani vapnenci,

glineni škriljavci, zeleni škriljavci, amfibolitni škriljavci te gnajsevi. Novija istraživanja pokazala su da je dio kristalinske mase u podlozi mezozojske starosti (CVETKOVIĆ, 2006; PETRINEC, 2013).

Mezozojske stijene nalaze se na puno manjem dijelu istraživanog područja, u okolici bušotine Vežišće-5 kojom su na dubini od 2101 metara nabušeni vapnenci, siltiti i breče te Novoselec-2 kojom je na dubini od 2347 metara nabušen spilitizirani dijabaz.

Podlogu neogensko – kvartarnih taložina čine još i sedimenti eocenske starosti koje nalazimo u jugozapadnom dijelu istraživanog područja. Bušotina Komarevo-1 na dubini od 842 metra do oko 917 metara nabušila je konglomerate, pješčenjake, gline, lapore i vapnence u izmjeni.



Slika 3-4. Pregledna paleogeološka karta podloge neogensko – kvartarnih naslaga zapadnog dijela Savske depresija (VELIĆ, 1980)

Elektrokarotažni marker Rs7 dijeli formacije Prečec i Prkos. Interval Tg – Rs7 litostratigrafski obuhvaća formaciju Prečec, a kronostratigrafski obuhvaća donji i srednji miocen zaključno sa sarmatom. Ta formacija karakterizirana je heterogenom litološkom građom, a najčešći su: konglomerati, breče, vapnenački pješčenjaci, laporoviti pješčenjaci, pjeskoviti lapori, vapnenci i litotamnijski vapnenci. Ovaj interval obuhvaća i biostratigrafsku jedinicu Tripoli – naslage donjosarmatske starosti. Te naslage

predstavljaju laminirani lapori koji nemaju veliku debljinu, svega 30 - 50 metara (prema SAFTIĆ & MALVIĆ, 2008).

Formacija Prkos biostratigrafski približno odgovara Croatica – naslagama donjopanonske starosti. Biostratigrafska jedinica Croatica naslaga karakteristična je po fosilu *Radix croatica*. Nalazi se između EK-markera Rs7 i Rs5. Po litološkom sastavu donekle se razlikuju slojevi iz središnjeg dijela i oni s ruba depresije koji su bliže površini i izdancima kronostratigrafskog ekvivalenta. Ovi drugi su pretežno izgrađeni od lapora i vapnenaca koji postupno, idući sve više u dubinu, prelaze u pješčenjake. Najčešće se radi o pješčenjacima arkoznog i subarkoznog tipa, rjeđe grauvakama, sa slabo prisutnom kalcitnom komponentom (VELIĆ, 1980; VELIĆ 2007; SAFTIĆ & MALVIĆ, 2008). Zajedno s formacijom Prečec tvori grupu Moslavačka gora. Marker Rs5 (a samim time i formacija Prkos) isklinjava približno na potezu Pisarovina – Kravarsko – Lekenik – Sisak – Stružec (VELIĆ, 1980). VELIĆ (1980) smatra da je nedostatak taložina formacije Prkos u ovome dijelu rezultat regresivnih tendencija i vertikalnih tektonskih aktivnosti. Ova formacija je znatno tanja u odnosu na formaciju Prečec.

Interval EK–markera Rs5 - Z' određuje formaciju Ivanić–Grad, najstariju u grupi Sava. Približni biostratigrafski ekvivalent su joj naslage Banatica, tj. gornjopanonski sedimenti. Karakterističan fosil za ovu jedinicu je *Congerina banatica*. Bitno se razlikuje od starijih formacija po litološkom sastavu. Sastoji se od pješčenjaka, (kalkarenitske subgrauvake) i žučkastih lapora (sa svim prijelaznim tipovima prema pijescima/pješčenjacima) u međusobnoj izmjeni (VELIĆ, 1980). Najveći broj pješčenjaka se pojavljuje u dva člana – pješčenjacima Iva i Okoli.

Formacija Kloštar – Ivanić nalazi se između EK-markera Z' i R ϕ . Približno obuhvaća biostratigrafsku jedinicu Abichi naslage donjopontske starosti. Karakterističan fosil za ovu jedinicu je školjkaš *Paradacna abichi*. Litološki je dosta slična formacija Ivanić – Grad. Karakterizirana je izmjenom pješčenjaka/pijesaka i lapora. EK-marker R ϕ dijeli formacije Kloštar – Ivanić i Široko Polje.

Formacija Široko Polje kronostratigrafski približno odgovara sedimentima vršnog dijela donjeg pontu i gornjem pontu (VELIĆ, 1980). Omeđuje ju u podini EK-marker R ϕ i u krovini α' . Litološki je slična formacijama Ivanić – Grad i Kloštar Ivanić te s njima i tvori grupu Sava. Odlikuje se izmjenom pješčenjaka/pijesaka s laporima raznolikog sastava. Obuhvaća biostratigrafsku jedinicu Rhomboidea naslage gornjopontske starosti koja se

odlikuje pijescima, laporovitim pijescima, pjeskovitim laporima, te glinovitim laporima (prema SAFTIĆ & MALVIĆ, 2008). Provodni fosil je školjka *Congeria rhomboidea*.

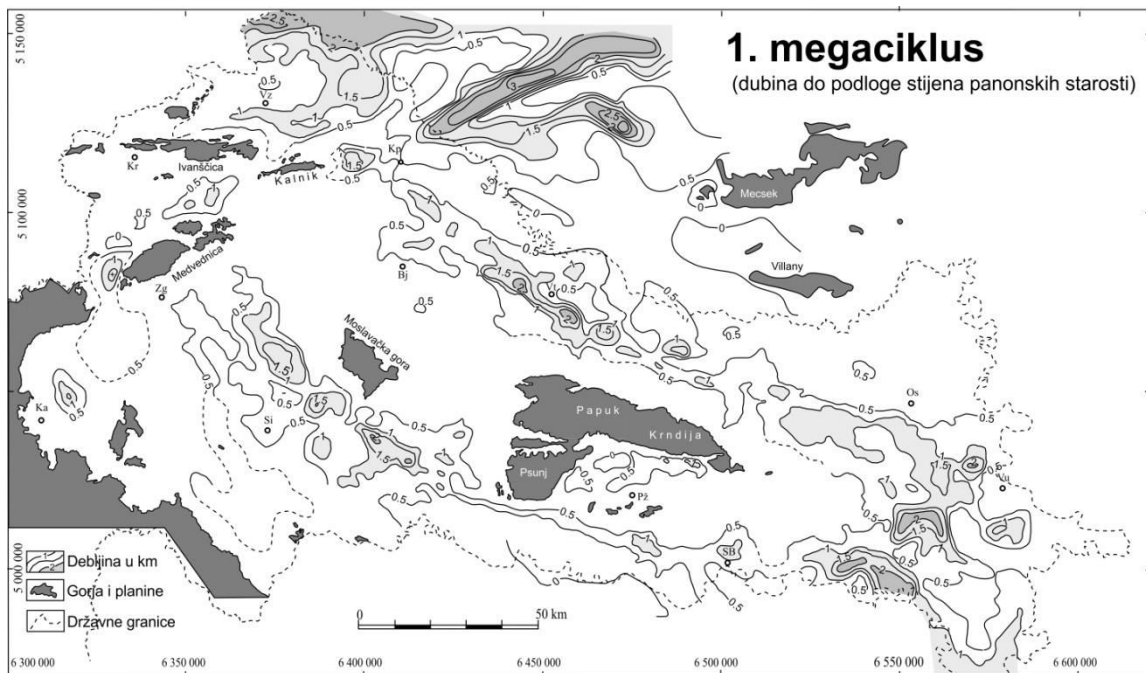
Najmlađa litostratigrafska jedinica, formacija Lonja proteže se u podini od EK-markera α' pa sve do površine terena. Kronostratigrafski se podudara s pliocenskim i pleistocenskim i holocenskim naslagama. Biostratigrafski odgovara jedinici Paludinske naslage koje prema SAFTIĆ & MALVIĆ (2008) sadrže pjeskovite i glinovite sedimente. Najzastupljeniji su šljunci, pijesci, gline i ugljen (lignit ili treset) (CVETKOVIĆ, 2013).

3.3. Taložni megaciklusi

Prema VELIĆ et al. (2002) i SAFTIĆ et al. (2003) u hrvatskom dijelu PBS-a u neogenu sedimentacija se odvijala sukcesivno u tri taložna "megaciklusa" koji su posljedica značajnih promjena u tektonskoj evoluciji Panonskog bazenskog sustava.

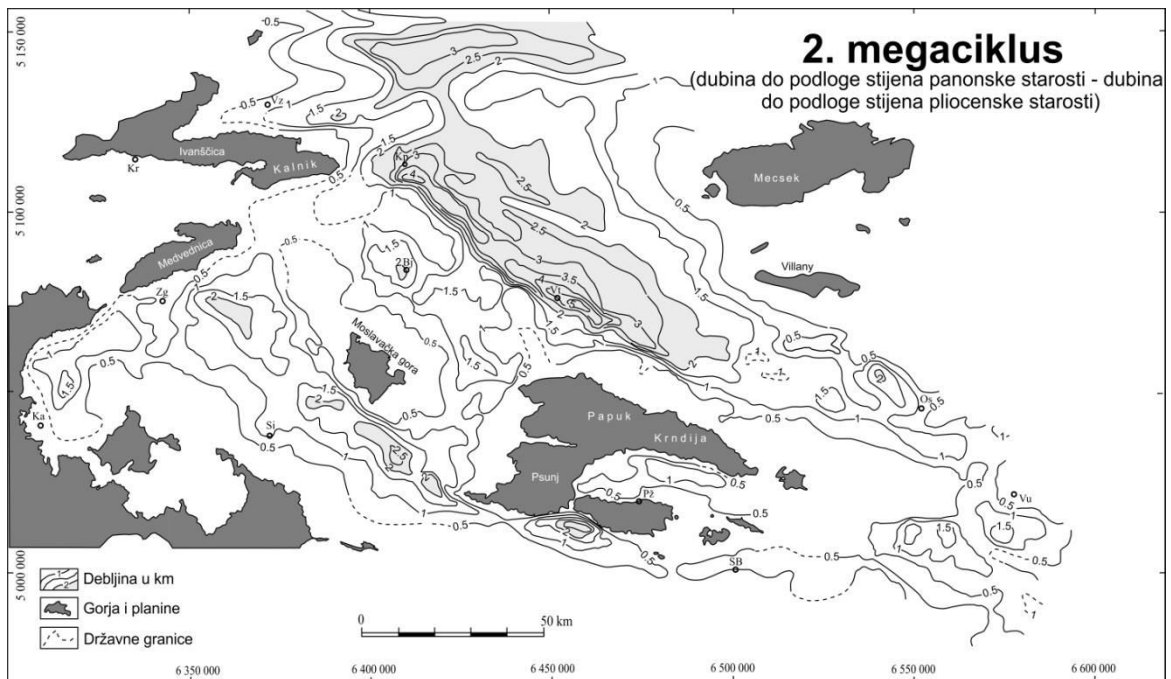
Radi se o tri međusobno različite litološko – genetske asocijacije kao rezultat prvenstveno tektonskih okvira taloženja – ekstenzije i zatim kompresije, ali i drugih lokalnih okolnosti kao na primjer donosa materijala, spuštanja dna bazena, eustatičkih promjena i promjena klimatskih uvjeta (prema VELIĆ, 2007).

Prvi i najstariji megaciklus započeo je lokalno u donjem miocenu i trajao je oko 6,8 milijuna godina (*Slika 3-5*). Ranomiocenske i srednjomiocenske je starosti. U Savskoj depresiji uključuje formaciju Prečec. Od sedimentnih stijena prisutni su krupni klastiti (breče, konglomerate, pješčenjake), sitni klastiti (glinae, lapori i pješčenjaci u tripoli naslagama), karbonati i mjestimice ugljen (prema VELIĆ, 2007; VELIĆ & MALVIĆ, 2011). Paralelno s prvim megaciklusom povezuje se i prva sin-ekstenzijska tektonska faza u ovom dijelu PBS-a, s glavnom osi tenzijskog naprezanja pružanja istok-sjeveroistok-zapad-jugozapad (TOMLJENOVIĆ & CSONTOS, 2001). U karpatu započinje marinska transgresija gdje se dominantno talože lapori i siltiti te lokalno krupnoklastični klastiti (PAVELIĆ, 2001). Sve do sarmata izmijenjuju se taložine prijelaznih okoliša u otnangu i karpatu do morskih okoliša u badenu (LUČIĆ et al., 2001; ĆORIĆ, 2009). Prvi megaciklus završava zaključno sa sarmatom.



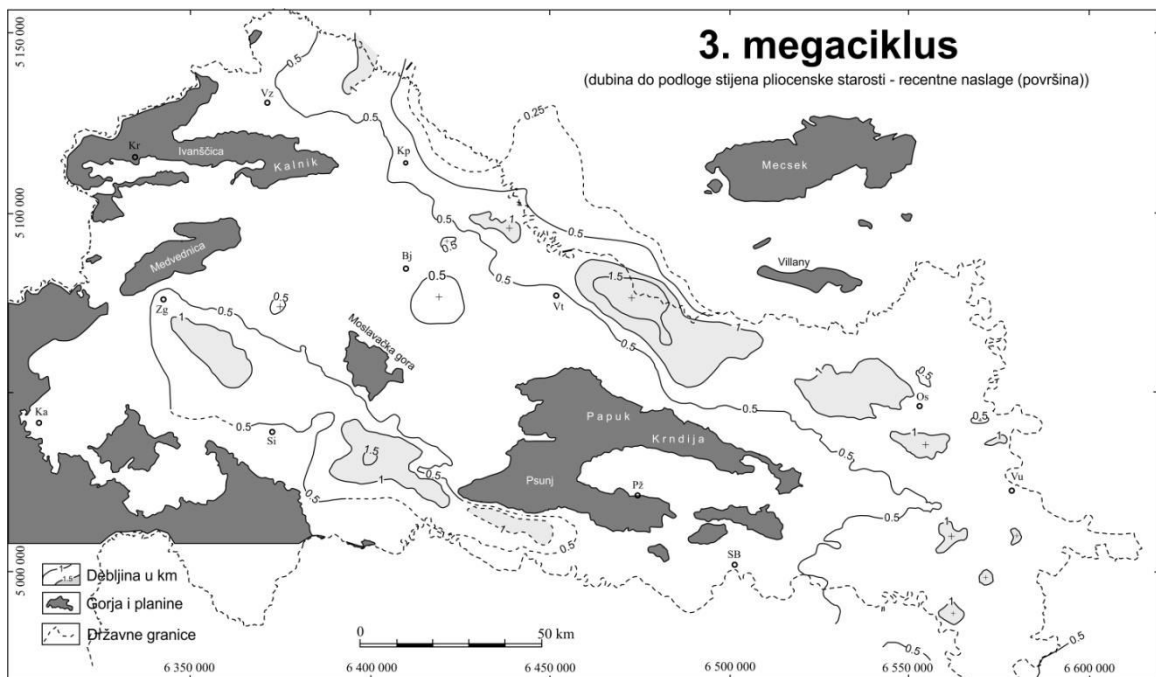
Slika 3-5. Karta izopaha prvog megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003)

Drugi megaciklus gornjomiocenske je starosti (panon i pont) i u njemu se nalazi asocijacija naslaga grupe Sava (formacije Ivanić – Grad, Kloštar – Ivanić i Široko Polje). Taloženje ovog ciklusa trajalo je približno 5,9 milijuna godina. Prevladava jednoličan slijed pješčanih/pješčenjačkih i siltnih i laporovitih tijela, koja su međusobno vezana prijelaznim varijetetima – od siltnih pješčenjaka do siltnih lapora (prema VELIĆ, 2007). Tijekom ovog ciklusa, naslage su taložene u brakičnom okolišu za vrijeme panona, a u pontu u jezerskim okolišima (SAFTIĆ et al, 2003; PAVELIĆ, 2001). U odnosu na prvi megaciklus bitno se razlikuje po litološkoj građi te debljini krupnozrnatih klastita, koja je mnogo veća nego u prvom megaciklusu. Taložni model upućuje da se radilo o dubljoj niskoenergetskoj sredini s izraženim podvodnim reljefom koji je oblikovan lokalnim tektonskim aktivnostima (VELIĆ, 2007). Taložni prostor i posebno izvorišta materijala se pomiču na rubove bazenskog sustava, pa na taj način glavno izvorište klastičnog materijala za hrvatski dio Panonskog bazena postaju Istočne Alpe (VRBANAC, 2002; VELIĆ & MALVIĆ, 2011). Dakle, najveći dio detritusa biva unašan u depresiju turbiditnim strujama na način da se krupniji klastiti talože u dubljim dijelovima depresije, a sitni klastiti na reljefno istaknutijim dijelovima bazena (*Slika 3-6.*).



Slika 3-6. Karta izopaha drugog megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003)

Naposlijetku, treći, najmlađi ciklus pliocensko – holocenske je starosti. Taloženje je trajalo približno 5,3 milijuna godina. Prema litostratigrafskoj razradbi pripada formaciji Lonja. Od ostalih megaciklusa ponajprije se razlikuje u litološkoj građi. Izgrađen je od sivih, slabo vezanih pijesaka i sivozelenih ili plavičastih mekih glina koje sadrže rijetke slojeve lignita. Završava šljuncima, praporima i rastresitim površinskim pokrivačem što zajedno prelazi 1500 metara debljine u Savskoj depresiji što se vidi na **slici 3-7** (VELIĆ, 2007; ŠIMON, 1980, CVETKOVIĆ, 2013). Karakteristična je močvarna, jezerska i riječna sedimentacija koja se odvijala u najnižim dijelovima depresija. U odnosu na prijašnje megacikluse, lokalna središta taloženja sedimenata pomaknuta su prema jugu ili prema jugoistoku (SAFTIĆ et al., 2003). U ovom ciklusu događa se i faza tektonske inverzije bazena koja je djelomice ostvarena reaktiviranjem ranijih normalnih rasjeda i formiranjem novih reversnih rasjeda, stvorenih u polju regionalnog naprezanja s orijentacijom glavne kompresijske osi pružanja sjever-jug do sjever-sjeverozapad-jug-jugoistok (TOMLJENVIĆ i CSONTOS, 2001).



Slika 3-7. Karta izopaha trećeg megaciklusa (SAFTIĆ et al., 2003)

3.4. Strukturno – tektonski odnosi istraživanog područja

Područje istraživanja i modeliranja odlikuje se vrlo složenim strukturno – tektonskim odnosima. Prema VELIĆ (1980) elementi najvećih struktura začeti su vrlo rano ili su predisponirani oblicima paleoreljefa. Iz strukturnih karata vidljivo je da prevladava radijalna tektonika, tj. tektonika blokova s nizovima antiklinala, sinklinala, horst – antiklinalama, graba – sinklinalama, strukturnim nosevima, terasama i strukturnim sedlima. Na području istraživanja i modeliranja dijela zapadne Savske depresije u proteklom istraživanjima nisu utvrđeni reversni rasjedi za razliku od ostalih dijelova iste depresije (VELIĆ, 1980). Rasjedi su normalni i s vrlo strmim paraklazama. Prema VELIĆ (1980) pravcu pružanja podijeljeni su u tri skupine:

1. sjeverozapad – jugoistok
2. jugozapad – sjeveroistok
3. sjever – jug

Na plohi tektonsko – erozijske diskordancije, EK-reperom Tg zamijećeni su oblici kombiniranog tipa. VELIĆ (1980) smatra da u ovom slučaju ne možemo govoriti o

klasičnim naboranim ili plikativnim strukturama, antiklinalama, sinklinalama i drugim zbog toga što su stijene koje čine podlogu neogensko–kvartarnim taložinama podložnije kidanju i pucanju, nego li boranju. Kod Martinske Vesi, Lekenika i Stružeca zapažaju se veći horstovi ili grebeni. Oblik nalik strukturalnoj terasi nalazi se na području Žutica–šume. Morfološka uleknuća nalaze se u okolici Siska. Južno od Stružeca nalazimo forme slične strukturalnim nosevima, a strukturalno sedlo zapadno od Stružeca kao prijevoj prema grebenu Martinska Ves (prema VELIĆ, 1980). Istraživani dio depresije presijecaju normalni rasjedi s pravcem pružanja sjeverozapad – jugoistok i sjeveroistok – jugozapad, a nalazimo i rasjede s pravcem pružanja sjever – jug.

Na razini elektrokarotaznog markera Rs7 ističu se rasjednute antiklinale Odra – Oborovo – Martinska Ves i Stružec. Sada se na području Žutica–šume nalazi strukturalni nos. VELIĆ (1980) zapažuje da je debljina formacije Prečec na lokalitetu Vezišće i Voloder minimalna ili čak nedostaje.

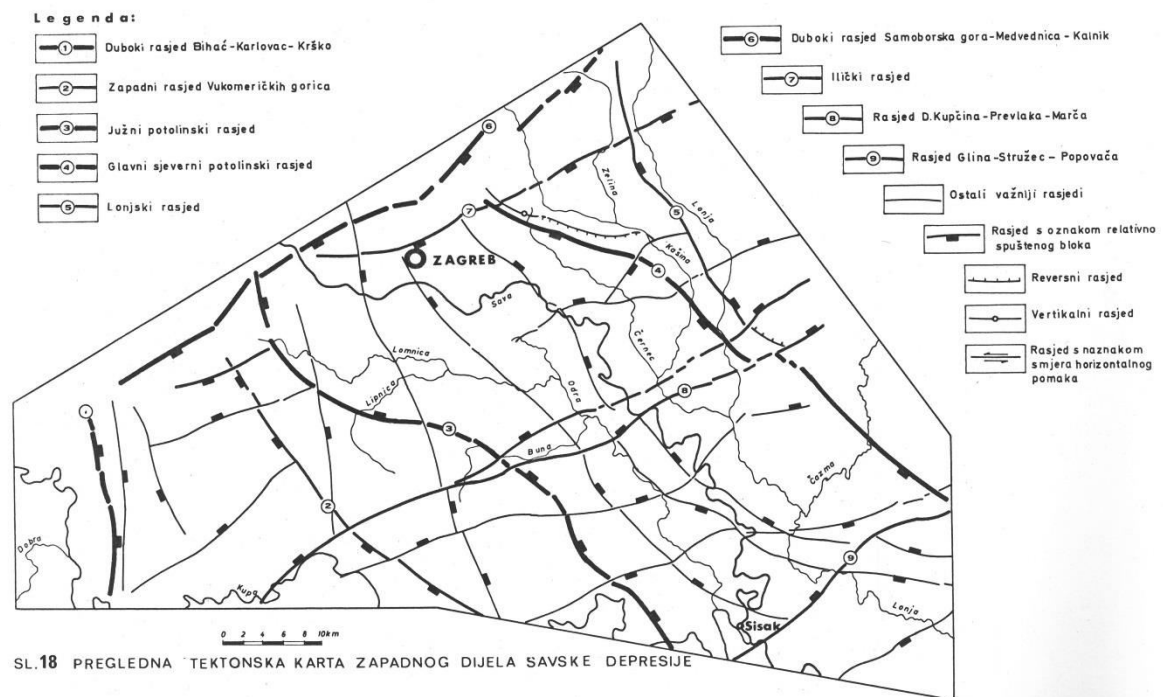
Ploha markera Rs5 u usporedbi s ostalim plohama ima najmanju površinu. Ponegdje se formacija Prkos, ograničena u krovini ovim markerom, uklinjuje na rasjedu, ali dobrim dijelom ipak postupno istanjuje na krilima uzdignutih strukturala, kao izraz regresivnih tendencija za vrijeme njezinog taloženja. Horst Odra – Oborovo – Martinska Ves i prostor južno od linije Pisarovina – Kravarsko – Lekenik – Sisak – Stružec su otočna područja, bez sedimentacije ili plitka podvodna uzvišenja s tankim naslagama (VELIĆ, 1980). Strukturalni nos Žutica–šuma poprima izgled horst – antiklinale. I dalje postoji rasjednuta antiklinala Stružec, a sjeverno od nje se nalazi utonula sinklinala čije je dno na -3500 metara ujedno i najniži nivo ovog markera u cijelom zapadnom dijelu Savske depresije.

Po plohi EK-markera Z' jedinstveni horst Odra – Oborovo – Martinska Ves dezintegrirao se na niz rasjednutih antiklinala. U zoni utonulih strukturala sjeverozapadno od Siska neki rasjedi s pravcem pružanja sjeverozapad – jugoistok i sjeveroistok – jugozapad ne dopiru do promatrane površine.

Na površini EK-markera R ϕ ocrta se glavna depresijska zona kao složena sinklinala s razvedenim dnom. Približno u sredini protežu se rasjednute antiklinale Odra – Oborovo – Martinska Ves, čiji se samo jugoistočni kraj nalazi u granici područja istraživanja, i Stružec. I dalje se vidi antiklinala Žutica–šuma. Najveće dubine ovog EK-markera nastupaju istočno od Stružeca, gdje prelaze -2200 metara, u zoni uopće najdebljih nakupljanja neogensko – kvartarnih sedimenata (VELIĆ, 1980).

Na strukturnoj karti po plohi EK-markera α' istočno od Stručeca dubina se povećava sve do -1300 metara. Neke dosada vidljive antiklinale više ne zadržavaju svoju karakterističnu formu već su ovdje zaravnjene, kao npr. Žutica-šuma. Zapaža se redukcija rasjeda, posebice u okolici Siska i Stručeca (prema VELIĆ, 1980).

Na *Slici 3-8* prikazana je pregledna tektonska karta zapadnog dijela Savske depresije (VELIĆ, 1980) na kojoj se mogu vidjeti glavni i veći rasjedi na ovome području.



Slika 3-8. Pregledna tektonska karta zapadnog dijela Savske depresije (VELIĆ, 1980)

3.5. Naftnogeološke značajke i vrste zamki

Dubina ležišta nafte kreće se od oko tristotinjak do gotovo tri tisuće metara apsolutne dubine, uz početni ležišni tlak koji odgovara hidrostatskom, te uz geotermalni gradijent od oko 4,5 °C/100 m (VELIĆ, 2007). Najstarije stijene koje sadrže ugljikovodike nalaze se u poljima Šumečani (graniti i škriljaci paleozojske starosti) i Bunjani (graniti i gnajsevi paleozojske starosti). Uz stijene paleozojske i mezozojske starosti najvažniji kolektori su pješčenjaci grupe Sava (formacije Ivanić – Grad, Kloštar Ivanić i Široko Polje) panonske i pontske starosti (gornji miocen). Još se moraju spomenuti i rezervoarske stijene poput

breča, brečokonglomerata, konglomerata, raspucalih vapnenaca te pješčenjaka donjeg miocena (formacije Prečec i Prkos) koje su zastupljene u poljima Vezišće, Šumečani, Mramor brdo, Kloštar, Ivanić – sjever i Bunjani (VELIĆ, 2007). Polja koja se na ovom području istraživanja ističu su Stružec, Žutica, Okoli, Voloder, Vezišće i Bunjani.

U hrvatskom dijelu PBS-a zamke se pojavljuju u svim tipovima, a prevladavaju strukturno – stratigrafske i stratigrafske zamke uz značajnu zastupljenost „*burried hill*“ zamki. Prema KRANJECU (1972) naftna i plinska polja kod nas razvrstana su u tri skupine prema tektogenezi i smještaju unutar depresije. To su: „*burried hill*“ strukture, rasjednute antiklinale te strukture nastale pod utjecajem vulkanskih masa u obliku kupola ili ploča. Polja Okoli, Vezišće, Žutica i Stružec koja se nalaze u području geomodeliranja Savske depresije pripadaju skupini rasjednutih antiklinala. Pouzdano je dokazana migracijska veza kroz sedla i terase između struktura polja Kloštar, Ivanić, Žutica, Okoli, Hrastilnica i Vezišće (VELIĆ, 2007). Treba napomenuti kako jedan od prvih pokušaja podjele polja na temelju tektogeneze potječe od AKSINA & FILJAKA (1963) prema kojoj polje Stružec spada u skupinu koja objedinjuje strukture nastale diferencijalnim spuštanjem pojedinih većih blokova i kompakcijom.

Jedne od najvažniji kolektorskih stijena u depresiji su pješčenjaci, koji imaju status člana u litostratigrafskoj razradbi. To znači da je njihov smještaj superpozicijski jasno definiran te da su im granice rasprostranjenosti manje – više precizno određene (VELIĆ, 2007). U Savskoj depresiji to su pješčenjaci Iva i Okoli koji pripadaju formaciji Ivanić – Grad i gornjopanonske su starosti i Mramor Brdo, Bujavica i Kutina koji pripadaju formaciji Široko polje (gornji dio donjeg pontia i gornji pont).

Nadalje u potpoglavlju biti će pobliže opisana najveća i najvažnija naftna i plinska polja na istraživanom području.

3.5.1. Naftno i plinsko polje Stružec

Stružec je polje u sklopu strukture Osekovo u Komarevsko – stružečkoj zoni (VELIĆ, 2007). Prema KRANJECU (1972) predstavnik je skupine polja gdje je nafta zarobljena u rasjednutim antiklinalama koje se nalaze u dubljim i središnjim dijelovima depresija. S pridobivanjem koje započinje 1960. godine s tada predviđenim trajanjem od 72 godine

Stružec je više godina bio najveće hrvatsko naftnoplinsko polje. Glavnina pridobivanja odvija se plinskim podizanjem.

Postignut je prosječni iscrpak od 43 %. Ugljikovodici se crpe iz dva pješćana sloja koja su debela približno 70 metara, a koji pripadaju grupi Sava, te su gornjomiocenske starosti. Nafta je lagana, parafinska, gustoće od 820 do 830 kg/m³ (VELIĆ, 2007). Polje ima oblik brahiantiklinale duge oko 4,5 i široke oko 1,8 kilometara s pravcem pružanja duže osi istok – zapad. Antiklinala je razdijeljena u tri bloka s poprečnim rasjedima pružanja sjever – jug na istočni, srednji i zapadni blok.

3.5.2. Naftno i plinsko polje Žutica

Naftno i plinsko polje Žutica nalazi se oko 40 kilometara jugoistočno od Zagreba na području koje se naziva Žutica–šuma. Crpljenje je započelo 1966. godine. Otkriveno je ukupno 17 ležišta koje litostratigrafski pripadaju pješćenjacima Iva, Okoli (fm. Ivanić – Grad) i Poljana (fm. Kloštar Ivanić), a kronostratigrafski odgovaraju taložinama gornjeg panona i donjeg pontaa. Radi se o rasjednutoj antiklinali pružanja sjeverozapad – jugoistok. Struktura ima dva uzdignuća, sjeverno i južno, između koji se nalazi strukturno sedlo. Antiklinala se uočava sve do plohe EK-markera α' . Prosječna poroznost pješćenjaka iznosi od 16 % do 22 %, a obujamska masa nafte je 856 kg/m³ (VELIĆ, 2007). Postignut je iscrpak nafte od 32 %, a plina 38 %.

3.5.3. Plinsko polje Okoli

Polje Okoli nalazi se na području općine Ivanić – Grad, a preko njega protječe potok Okoli i rijeka Česma. Bušotina Okoli–1 otkrila je ležišta plina u sedimentima gornjopanonske, donjopontske te pliocenske starosti. Strukturu Okoli predstavlja antiklinala čija je duža os orijentirana u smjeru sjeverozapad – jugoistok. Pješćani kolektori razvrstani su u „serije“ različite građe i dubine zalijeganja, a tu su od starijih prema mlađima:

- „c“ serija s ukupno 11 gornjopanonskih pješćenjačkih slojeva,
- „b“ serija s ukupno 5 gornjopanonskih pješćenjačkih slojeva,
- „a“ serija s ukupno 5 donjopontskih pješćenjačkih slojeva,

- „P“ serija sa 6 pliocenskih pješčenjačkih leća (VELIĆ, 2007).

Pješčenjačke slojeve odvajaju nepropusni kalcitni lapori i gline s manjim udjelom kalcita. Polje se danas koristi kao podzemno skladište plina.

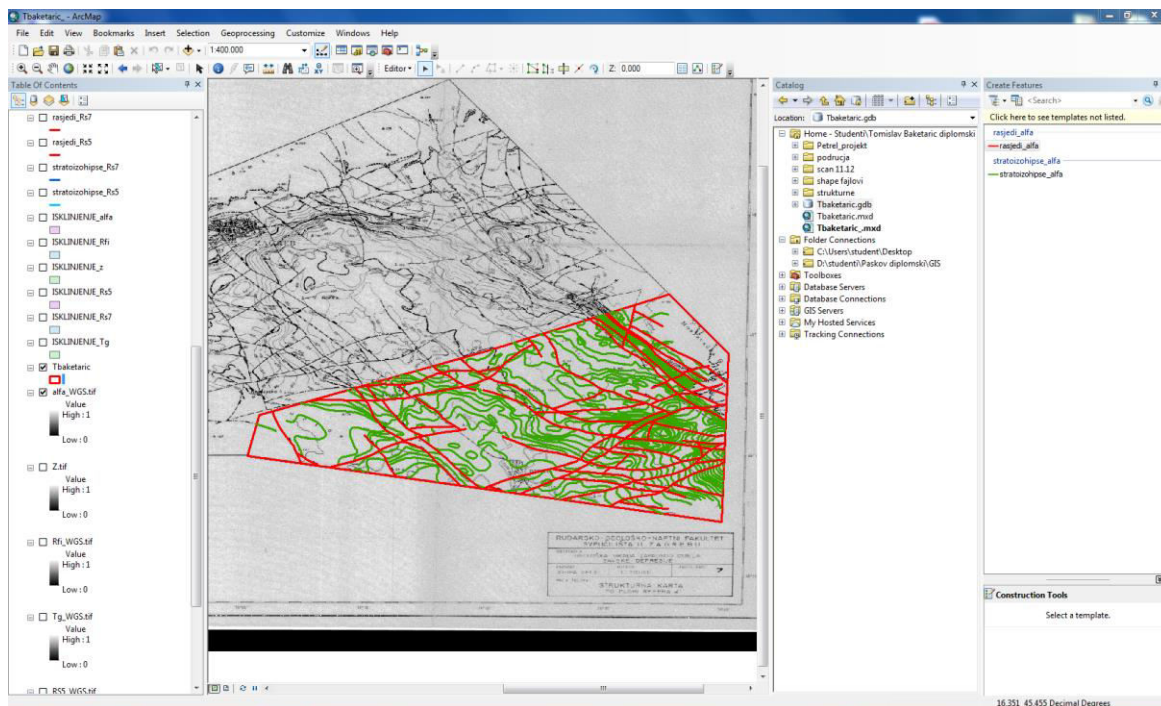
Treba napomenuti kako je polje Vezišće prestalo s eksploatacijom 2003. godine.

4. METODOLOGIJA

Kao ulazni podatci korištene su ručno interpolirane strukturne karte po plohama šest EK – markera i repera (VELIĆ, 1980) opisanih u prethodnim poglavljima. Šest karata je skenirano te pohranjeno u slikovnom formatu .tif (engl. *Tagged Image File Format*) zbog visoke razlučivosti koju navedeni format pruža te su naknadno digitalizirane, obrađene i interpretirane u računalnim programima ArcMap i PETREL™ 2013 koji je doniran Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu od kompanije Schlumberger.

4.1. PC Windows aplikacija ArcMap

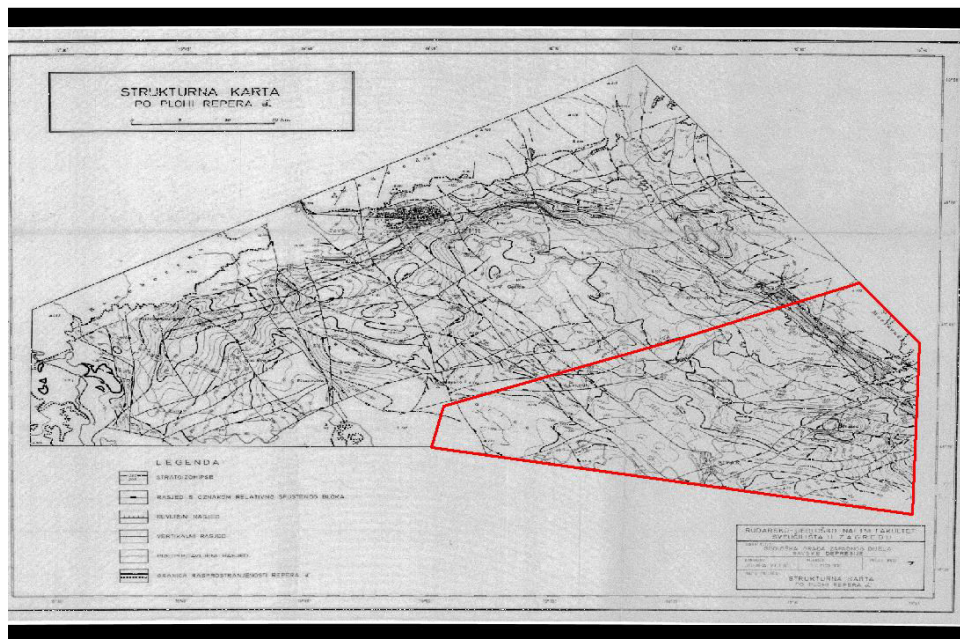
ArcMap jedna je od glavnih komponenta programskog paketa ArcGIS kojeg je razvio ESRI (engl. *Environmental Systems Research Institute*). Računalni program ArcMap (*Slika 4-1*) koristi se za pregledavanje, stvaranje, uređivanje i analiziranje geoprostornih podataka te omogućuje istraživanje određenih podataka unutar velikog skupa podataka i samo stvaranje karata.



Slika 4-1. Sučelje programa ArcMap

4.2. Obrada podataka u računalnom programu ArcMap

U izradi ovog diplomskog rada program je poslužio za digitalizaciju podataka. Šest skeniranih ručno izrađenih strukturnih karata ubačeno je u program te je stvorena jedinstvena geo – baza podataka (engl. *Geodatabase*). Stvaranjem geo – baze podataka potrebno je odrediti koordinatni sustav u kojemu su karte crtane kako bi nadalje obrađene podatke mogli točno smjestiti u trodimenzionalni prostor. Odabran je koordinatni sustav WGS 1984 (engl. *World Geodetic System*). WGS 84 je naziv elipsoida koji se koristi kao referentni koordinatni sustav. To je geocentrični koordinatni sustav čije je ishodište u središtu Zemljanih masa. Os Z umjerena je prema srednjem položaju sjevernog pola od 1900. do 1905. godine. Os X leži u ekvatorijalnoj ravnini i prolazi srednjim Griničkim meridijanom. Os Y okomita je na osi X i Z i usmjerena je na istok. WGS84 je referenti elipsoid za GPS satelite (<https://confluence.gps.nl>). Nakon toga je područje istraživanja određeno i označeno kao zatvoreni poligon u programu te spremljeno u bazu podataka i kao takav označava granicu digitaliziranja podataka (*Slika 4-2*).



Slika 4-2. Granica istražnog područja prikazana na strukturnoj karti po plohi markera

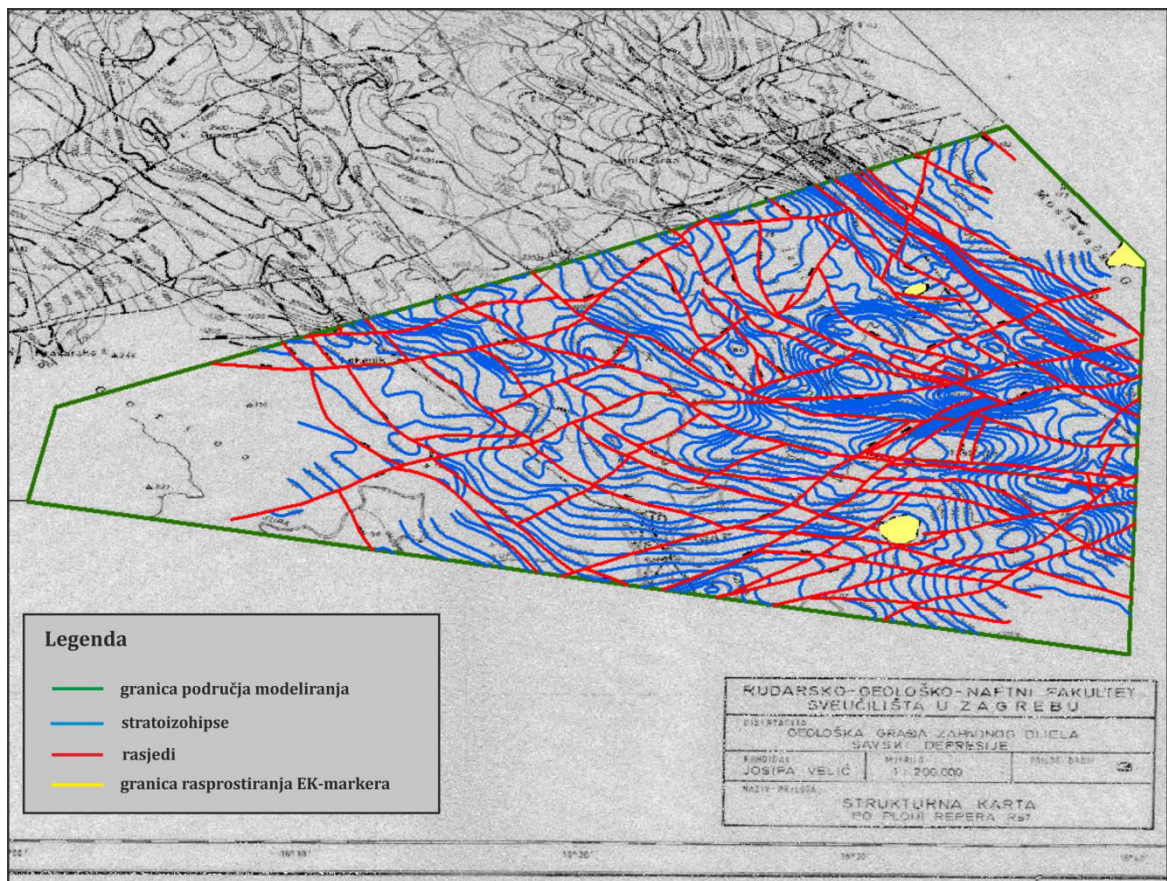
„a“

Karte se sastoje od stratoizohipsi ili izobata, linija koje predstavljaju rasjede te linija koje označavaju granicu raspostiranja EK repera ili markera. Kako se svaka karta sastoji od triju različitih „vrsta“ podataka koji su nam potrebni za daljnu digitalizaciju podataka, za svaku su posebno stvarane klase (engl. *Feature Class*) u geo – bazi podataka. Za svaku posebnu kartu i jednu od ovih njezinih triju komponenata stvorena je zasebna klasa, npr. za rasjede koje se nalaze na strukturnoj karti napravljene po plohi EK-markera Rs5, napravljena je klasa „rasjedi_Rs5“ . Stoga je u konačnici stvoreno 18 različitih klasa koje su korištene kao ulazni podatci.

Obrada karata započinje nakon što je stvorena svaka zasebna klasa. Preko svakog rasjeda na karti se na računalu nakon toga prelazi s linijom prilikom čega se rasjedi napravljeni na računalu (ponovljenih preko skeniranih strukturnih karata) ne smiju spajati zato što bi onda u programu stvorili zatvorene i zasebne poligone koji se ne bi mogli razdvojiti te naposljetku ne bi mogli dobiti željeni rezultat (*Slika 4-3*).

Stratoizohipse (ili izobate) obrađujemo na način sličan rasjedima, ali uz dodavanje određene značajke koju nosi svaka stratoizohipsa – njezine dubine. Prije stvaranja svake stratoizohipse na računalu potrebno je upisati dubinu koju stratoizohipsa predstavlja. To je vrlo važno iz razloga što će se na temelju vrijednosti tih stratoizohipsi stvoriti karte koje će biti jedan od ulaznih podataka prilikom stvaranja samog modela.

Digitalizacija linija koje označavaju granicu rasprostiranja markera izvodimo tako da su linije iscrtane na kartama zajedno s rubovima karata definirane kao zatvoreni poligoni (*Slika 4-3*). Oni kao zatvoreni poligoni označuju dijelove istraživanog područja koje računalo u kasnijoj obradi u programu Petrel izreže.

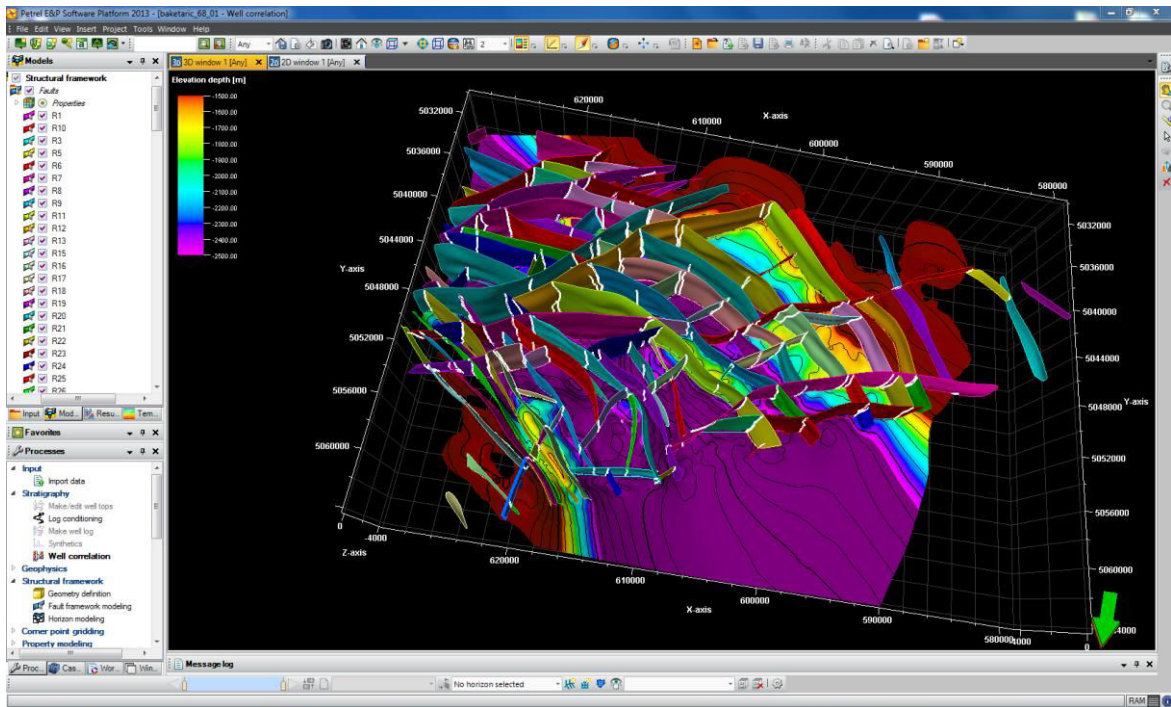


Slika 4-3. Obradene i digitalizirane stratoizohipse, rasjedi te granice rasprostiranja EK – markera napravljene na podlozi strukturne karte po plohi markera „Rs7“

Stvorene klase potrebno je nakon digitalizacije izvesti (engl. *export*) u shapefile-ove. Shapefile-ovi su geoprostorni vektori koji sadrže podatke vezane za geografski informacijski sustav. Oni prostorno opisuju točke, linije i poligone.

4.3. Računalni program Petrel™ 2013

Prilikom izrade ovog diplomskog programa korišten je i računalni program Petrel™ 2013 (*Slika 4-4*) u vlasništvu tvrtke Schlumberger. Softverska platforma pruža integrirana rješenja od faza istraživanja do faza eksploatiranja polja. Program je pogodan za obradu i interpretaciju seizmičkih podataka, korelaciju bušotina, izradu geoloških trodimenzionalnih modela i ploha podzemlja te se koristi za istraživanje i razradu ležišta ugljikovodika.

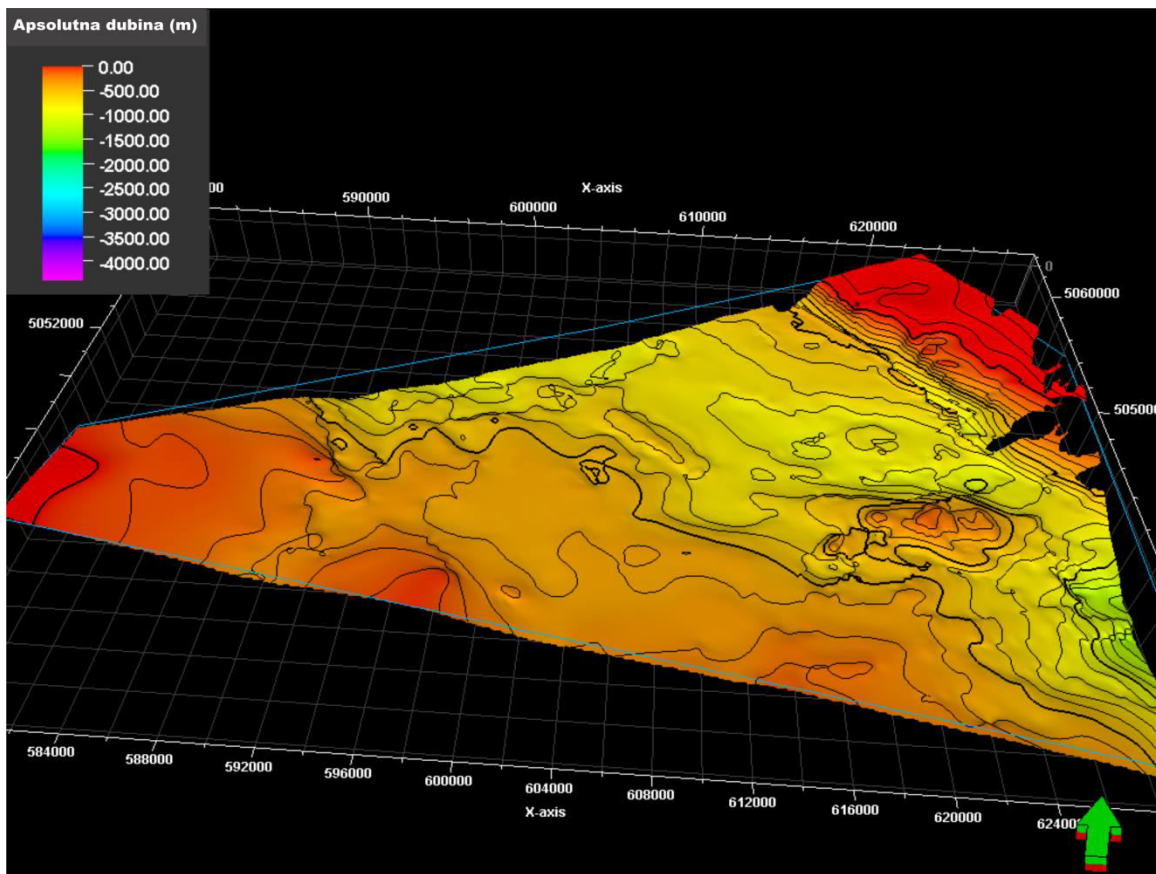


Slika 4-4. Sučelje računalnog programa Petrel™ 2013

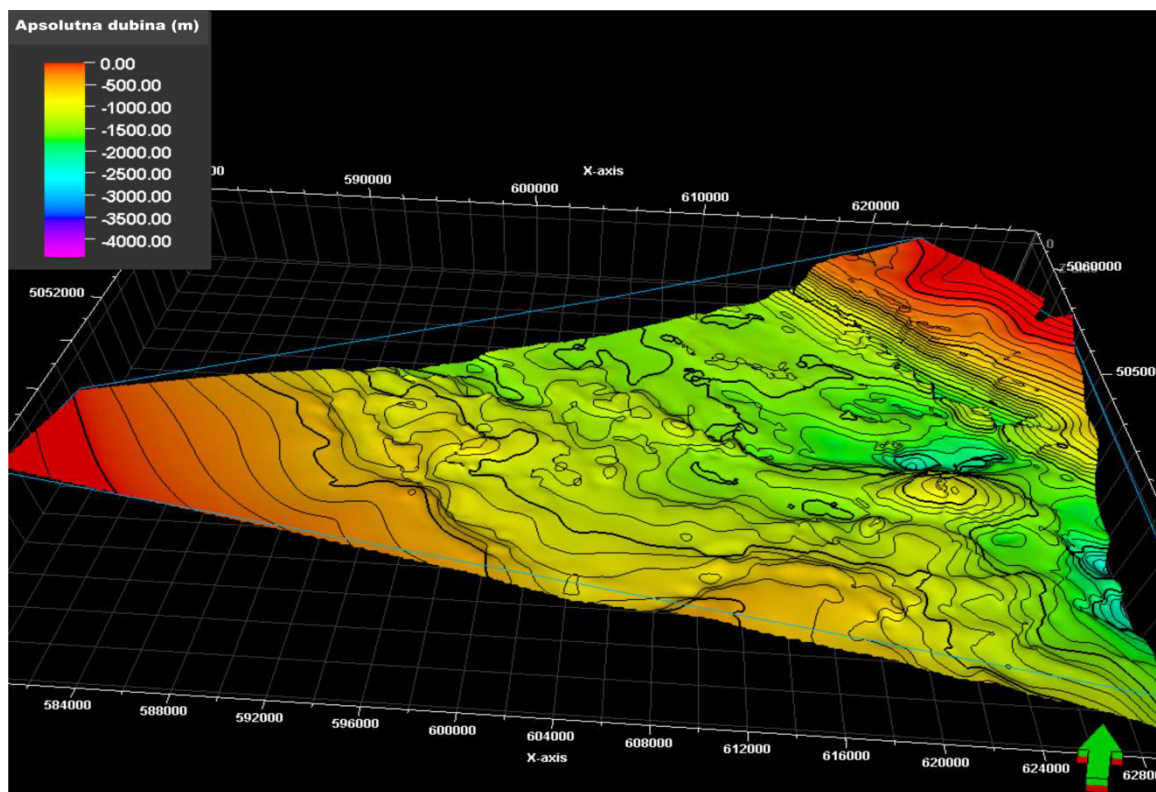
4.4. Obrada podataka u računalnom programu Petrel™ 2013

Shapefile–ovi načinjeni u ArcGIS-u uvoze (engl. *import*) se u računalni program Petrel™ 2013. Pri tome se mora paziti da svaki *shapefile* ima određen točan i isti koordinatni sustav WGS 1984. Obrada uvedenih podataka podijeljena je na tri dijela: obradu stratoizohipsi, rasjeda te linija koje označavaju granice raspostiranja EK-markera i repera.

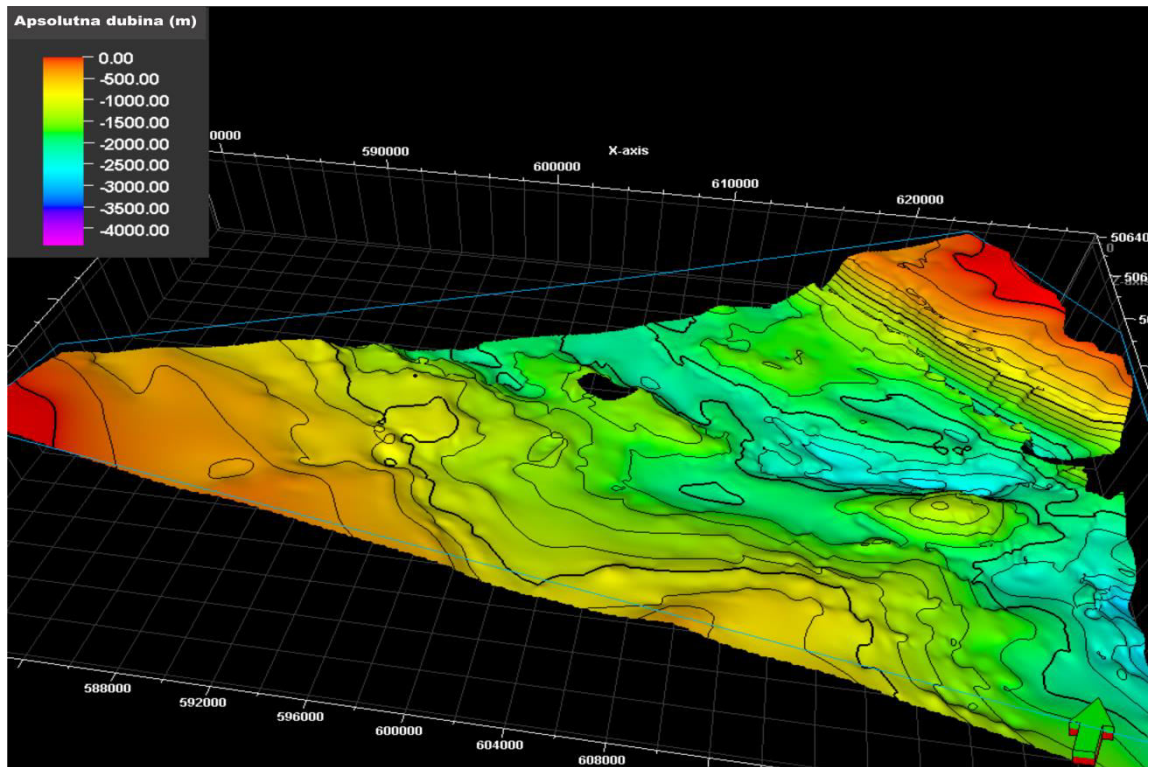
Nakon što su *shapefile*–ovi stratoizohipsa sa svih šest karata uvezeni u program od njih su načinjene površine. Površine su izrađene preko alata Izradba/preinaka površine (engl. *Make/edit surface*) u kojem je program preko unesenih stratoizohipsa napravio plohu po određenom EK-markeru ili reperu, te je ona u daljnjoj obradi korištena kao jedan od ulaznih podataka za izradu konačnog modela podzemlja. Primjeri napravljenih površina po EK-markerima i reperima prikazane su na *Slikama 4-5* do *4-10*.



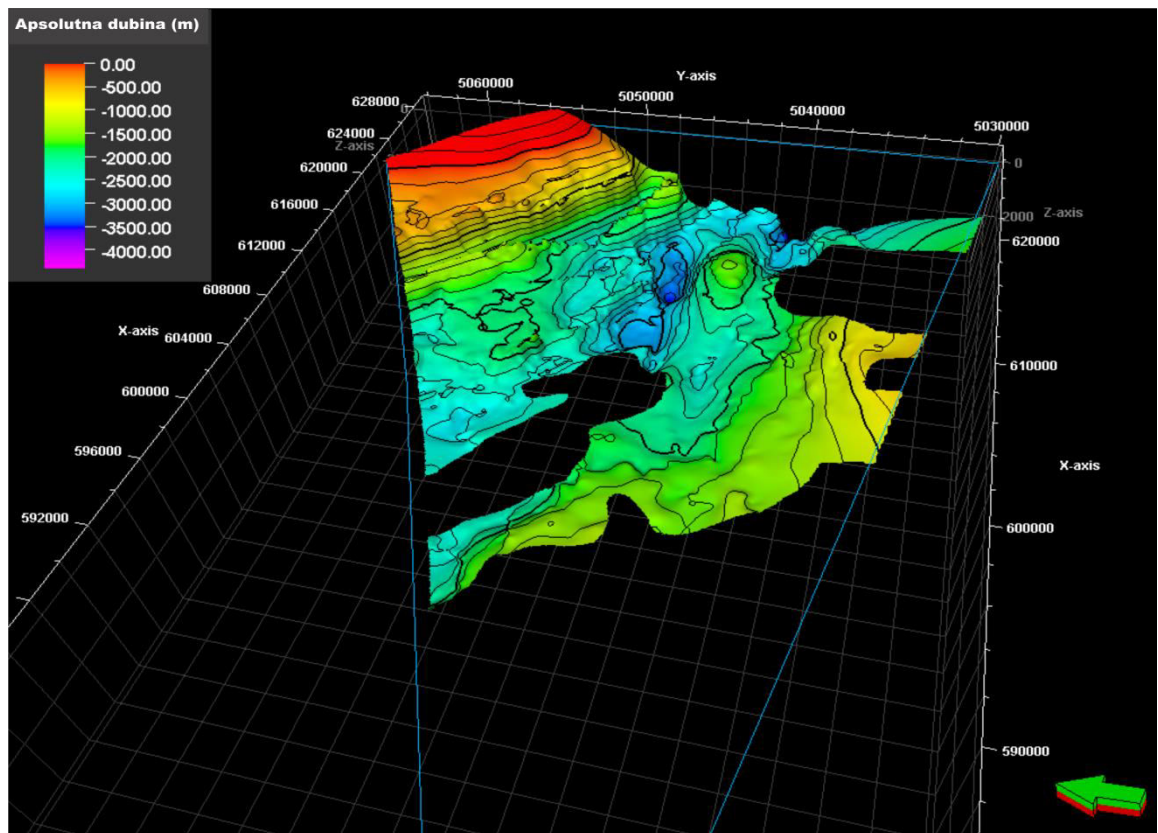
Slika 4-5. Površina po EK–markeru „a“



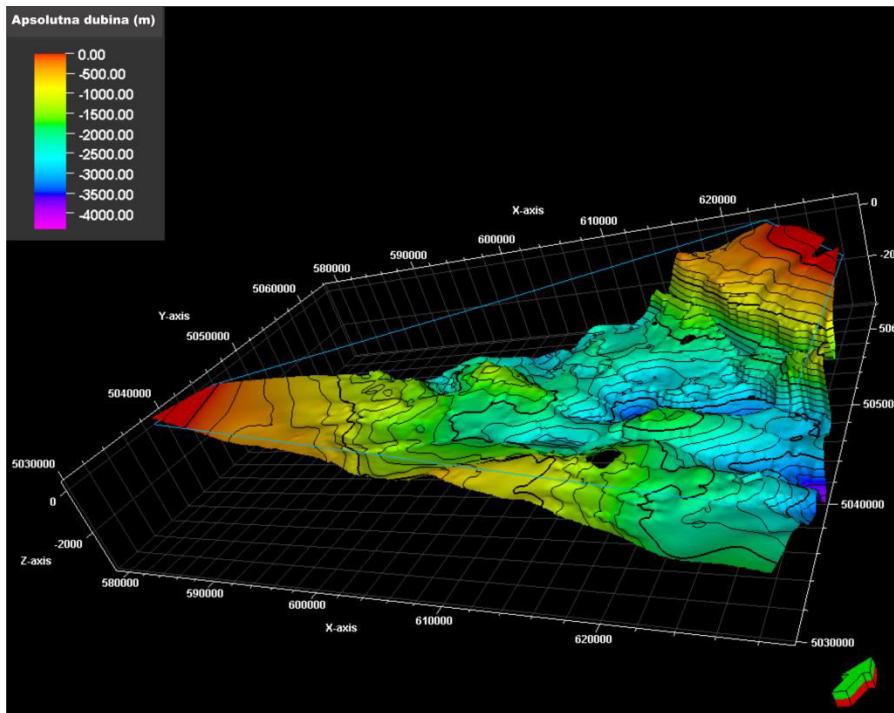
Slika 4-6. Površina po EK–markeru „Rφ“



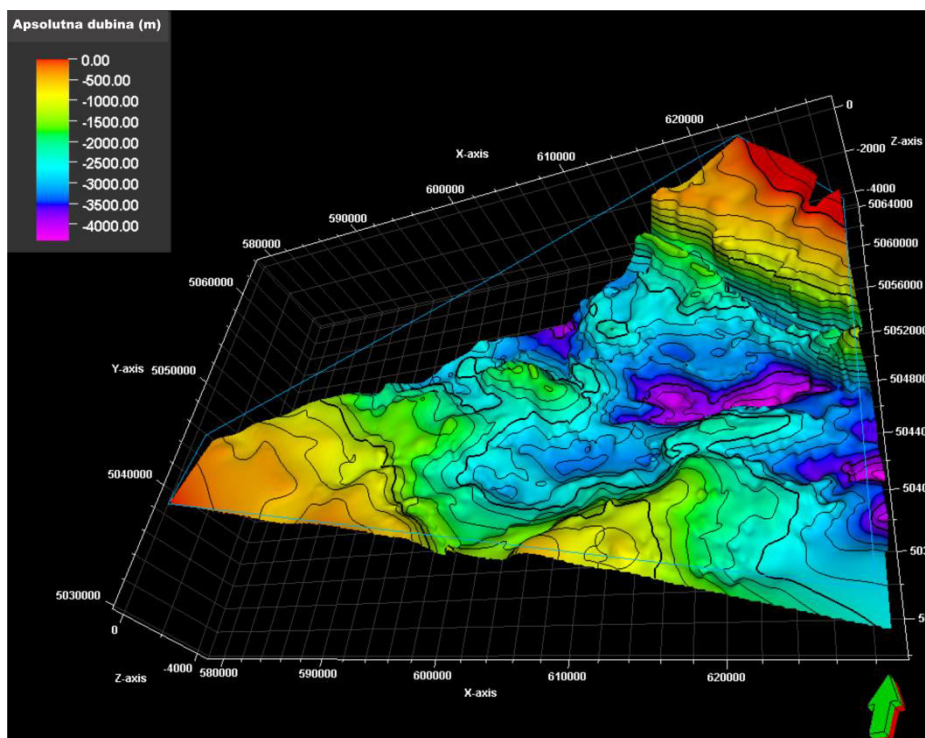
Slika 4-7. Površina po EK–markeru „Z“



Slika 4-8. Površina po EK–markeru „Rs5“



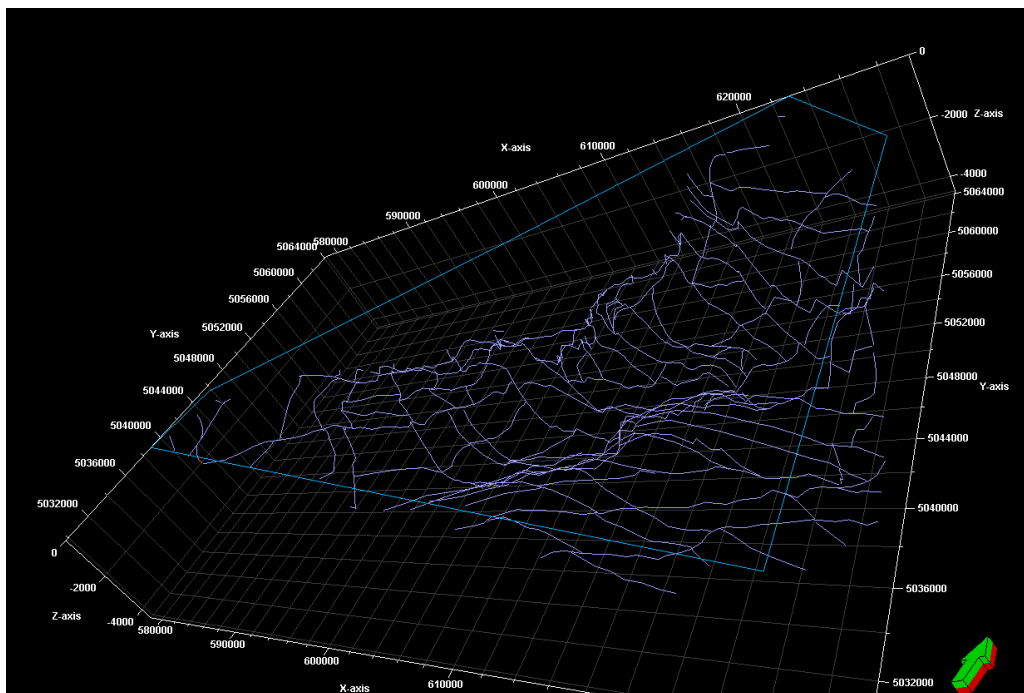
Slika 4-9. Površina po EK–markeru „Rs7“



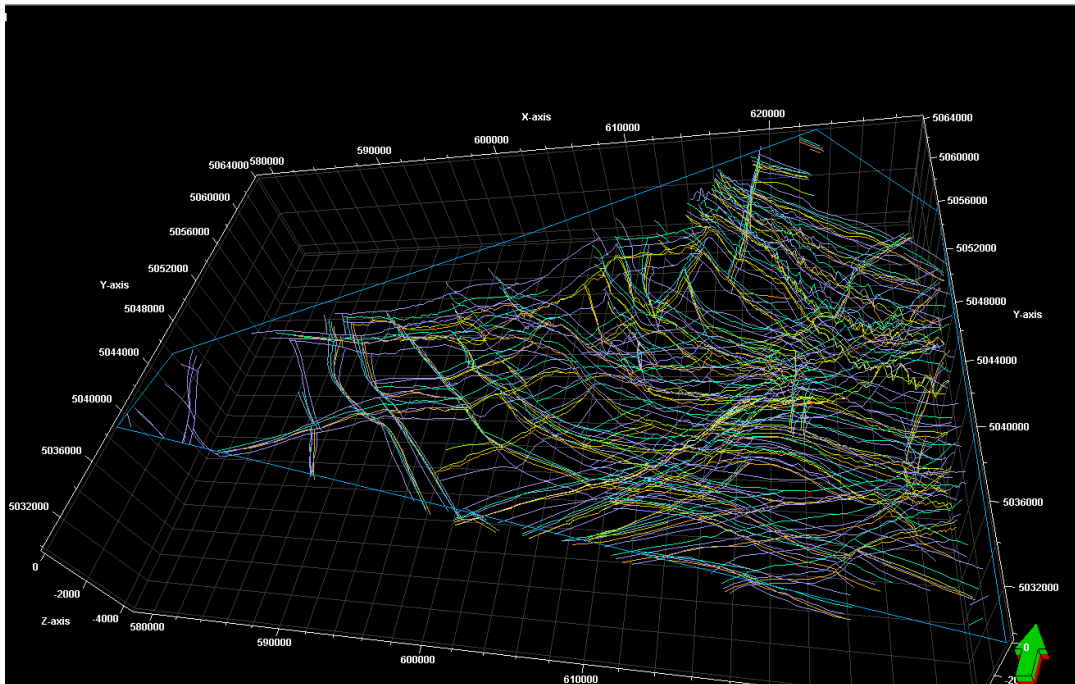
Slika 4-10. Površina po EK–reperu „Tg“

Nakon što su rasjedi po plohi svakog EK–markera i repera uvedeni u program Petrel™ 2013 oni su podijeljeni kao poligoni na jednak broj točaka alatom Jednaki razmak (engl. *Equal space*) kako bi se poslije naknadno mogli lakše modificirati u programu alatom

Izradba/preinaka poligona (engl. *Make/edit polygons*). Rasjedima nije bilo moguće dodati značajku Z, koja predstavlja dubinu, u programu ArcMap, zato što rasjedi koji se nalaze na kartama prate i sijeku plohe po EK reperima i markerima. Upravo zbog ovog razloga rasjede je bilo potrebno translirati na njihove odgovarajuće površine izjednačavanjem koordinate Z (dubina) iz novo napravljenih površina i koordinate A rasjeda (koja je zadana kao 0) (*Slika 4-11*). Nakon transliranja rasjeda na njihove odgovarajuće površine oni poprimaju vrijednost dubine u onome mjestu u koordinatnom sustavu gdje je dubina prethodno napravljena izradom površina iz stratoizohipsi ili izobata (*Slika 4-12*)

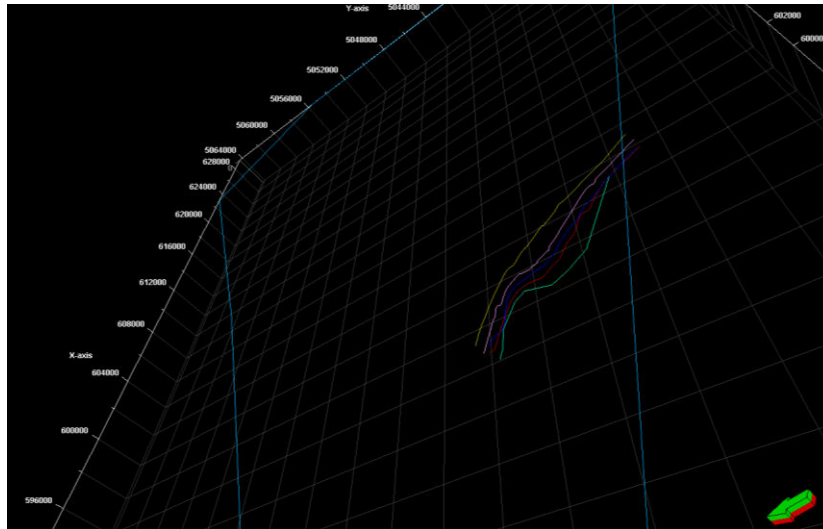


Slika 4-11. Primjer rasjeda digitaliziranih po EK-reperu Tg nakon što su translirani na odgovarajuću površinu

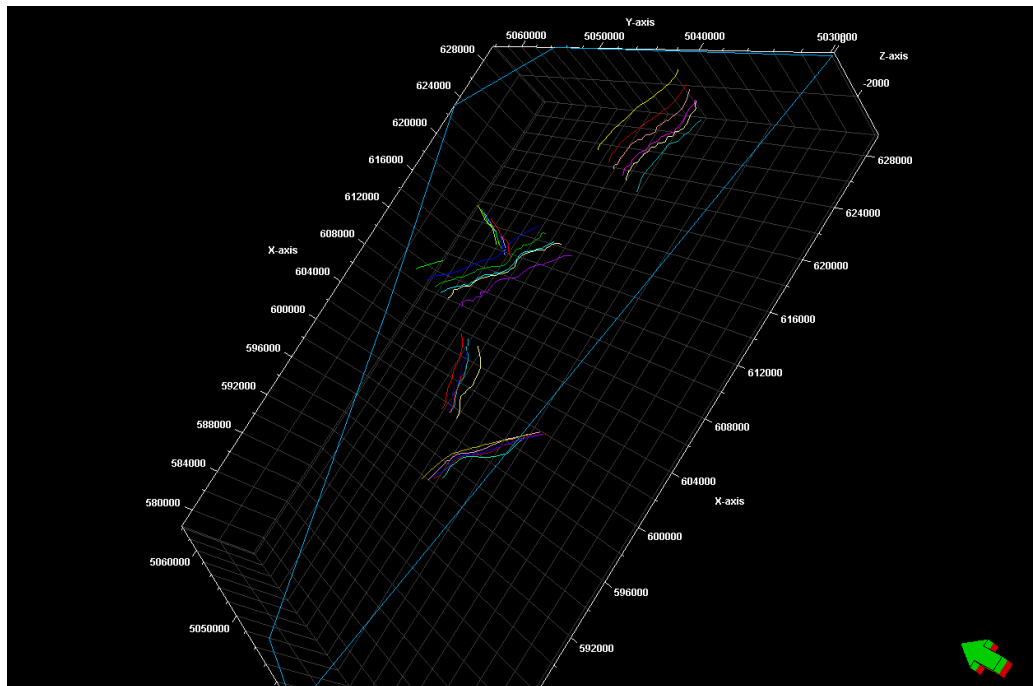


Slika 4-12. Rasjedi po svima plohama translahirani na njihove odgovarajuće površine

Rasjedi po određenoj plohi EK-markera i repera u program su uvedeni kao cjelina te je svaki od njih kao zasebnog ovom operacijom bilo potrebno odvojiti. Rasjedi su razdijeljeni alatom Razdvajanje (engl. *Split*) na više poligona, zasebno kako su crtani u programu ArcMap. Kako rasjedi u podzemlju prodiru u dubinu, poligone koje predstavljaju iste rasjede ali po različitim plohama bilo je potrebno pregrupirati i posložiti u mape (engl. *Folder*). Tako na *Slici 4-13* vidimo pet različitih poligona označenih različitom bojom koji predstavljaju ocrte rasjeda po pet različitih ploha. Raznolikost boja koje pruža program uvelike olakšava grupiranje poligona u mape. Na *Slici 4-14* prikazan je sadržaj pet različitih mapa koje predstavljaju rasjede. Poligoni su razvrstani u 134 mapa te predstavljaju 134 rasjeda koji se nalaze na istraživanom području.



Slika 4-13. Rasjed broj 10 s pripadajućim poligonima (sadržaj mape R10)



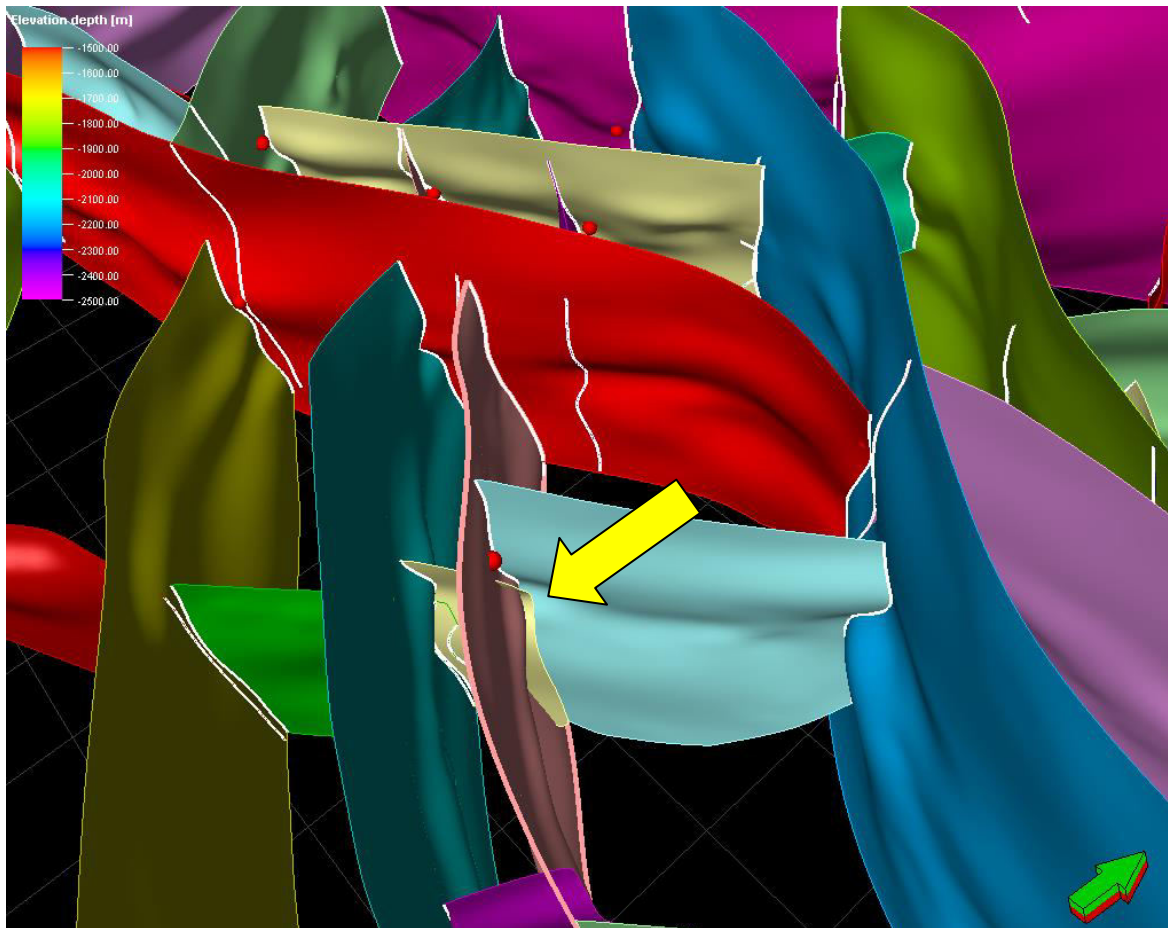
Slika 4-14. Prikaz sadržaja pet različit mapa koje predstavljaju rasjede

Kada je interpretacija i grupiranje rasjeda u mape završena, bilo je potrebno izraditi strukturalni okvir (engl. *Structural framework*). Izrada strukturalnog okvira podrazumijeva definiranje geometrije i granicu strukturalnog modela te iz interpretiranih i povezanih poligona izradu rasjedne plohe, a na kraju i modele horizonata. Strukturalni okvir izrađen je pomoću alata Okvir rasjednih ploha (engl. *Fault framework modeling*) (*Slika 4-15*). U ovome alatu za svaki rasjed dodajemo poligone koji ga tvore. Ovdje možemo podesiti i

opciju Udaljenost ekstrapolacije (engl. *Extrapolation distance*) kojom određujemo koliko će program ekstrapolirati sam rasjed od poligona kojima je on određen. Isto tako stupac Zaglađivanje (engl. *Smoothing*) nam omogućuje omjere zaglađivanja same plohe rasjeda. Kada je napravljen strukturni okvir potrebno je odrediti odnose između rasjeda koji imaju međusobni kontakt. Potrebno je bilo postaviti u odnosima koji je glavni (engl. *major*) a koji sporedni (engl. *minor*) rasjed, zato što na taj način jedan rasjed prekida drugi. Tako su ispravljane pogreške koje je sam računalni program napravio prilikom kreiranja strukturnog okvira (**Slika 4-16**). Na slici je prikazan odnos rasjeda nazvanih R134 i R135 gdje je vidljivo kako R135 presjeca R134, a zapravo ga R134 prekida.

Index	Fault	Color	Size	Status	Grid interval	Smoothing	Tip loop style	Tip loop sculpting diameter	Extrapolation distance	Gridding plane	Fault top	Input #1	Input #2	Input #3	Input #4	Input #5
111	R131		332	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
112	R132		290	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
113	R133		307	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
114	R134		56	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
115	R135		498	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
116	R136		67	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
117	R137		1148	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
118	R138		106	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
119	R139		881	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
120	R140		173	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
121	R141		165	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
122	R142		41	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
123	R143		76	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
124	R146		90	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
125	R147		153	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
126	R149		180	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
127	R152		88	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
128	R158		37	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
129	R78		22	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
130	R118		664	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
131	R161		66	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
132	R114		144	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
133	R115		143	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon
134	R45		192	Done	300.00	2	Convex hull	400.00	300.00	Plane1		Polygon	Polygon	Polygon	Polygon	Polygon

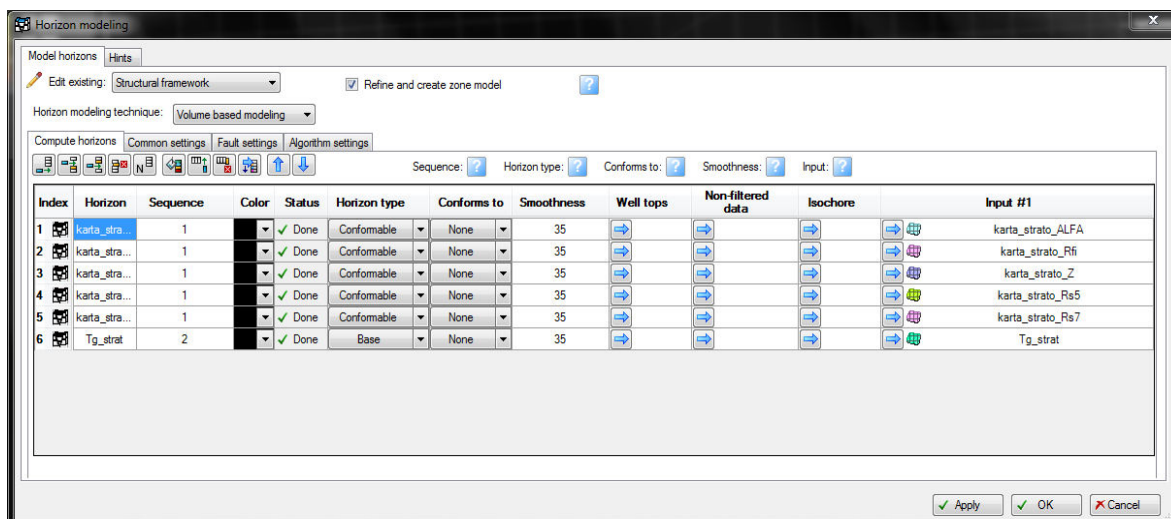
Slika 4-15. Fault framework modeling dijaloški okvir



Slika 4-16. Rasjed 134 i Rasjed 135

Kreiranjem strukturnog okvira sa svim ispravljenim pogreškama preostalo je još samo digitalizirati linije koje označuju granice rasprostiranja EK – repera i markera. One su, nakon što su kao zatvoreni poligoni napravljene u ArcMap – u, uvedene u Petrel™ 2013 translirane na površine, isto kao i rasjedi izjednačavanjem koordinate Z (dubina) iz novo napravljenih površina i dubine A (granica rasprostiranja). Nakon toga se podešavanjem odnosa različitih zatvorenih poligona izrežu ti dijelovi površina (vidi se na *Slikama 4-5 do 4-10*).

Izrada modela horizonata (engl. *horizon modeling*) (*Slika 4-17*) sljedeći je korak u postupku strukturnog modeliranja. Izvodi se alatom Horizon modeling u okviru kojeg se prvo definiraju ulazni podaci tj. 3D površine po plohi EK – repera i markera kreirane iz digitaliziranih stratoizohipsi i pripadajućeg modela rasjeda (Fault framework model) te se uključi opcija koja omogućuje kreiranje 3D zona (engl. *refine and create zone model*).

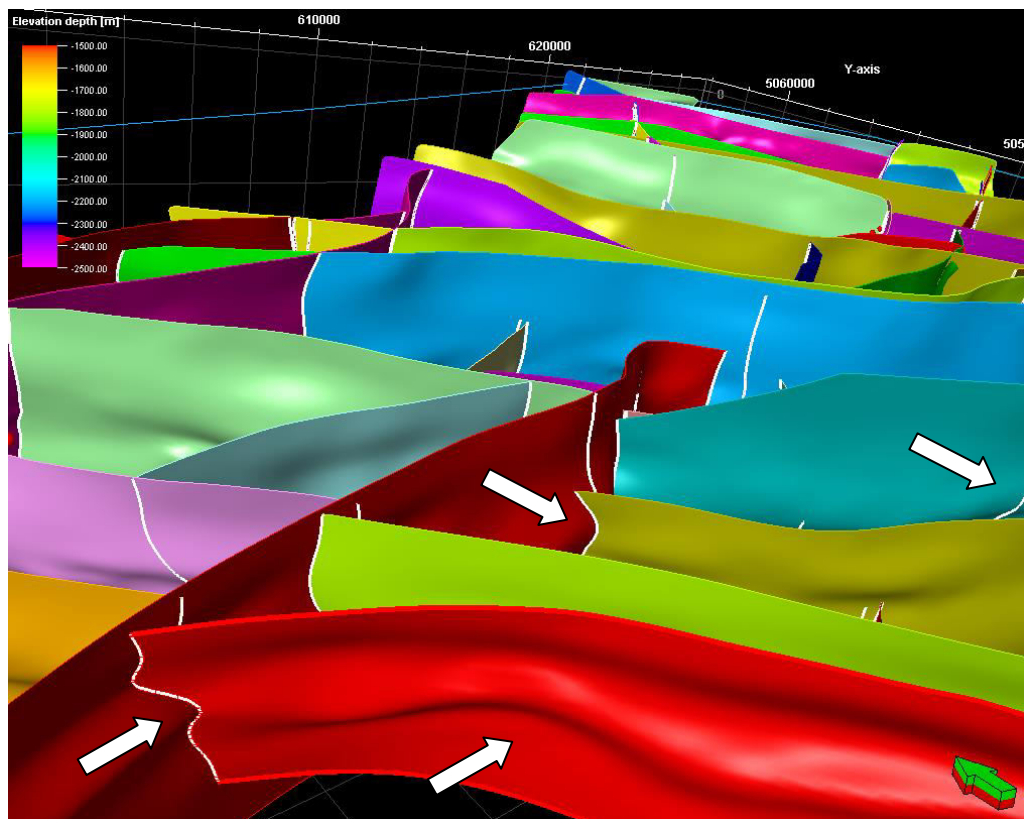


Slika 4-17. Izrada modela horizonata – dijaloški okvir

Pri izradi modela horizonata površina po EK–reperu „Tg“ postavljena je kao baza samog modela zato što ona predstavlja podlogu neogenskim i kvartarnim taložinama. Površine po EK–markerima prilagođene (engl. *conformable*) su bazi (podlozi). Prilikom kreiranja modela pojavljuju se pogreške koje program prepoznaje i koje pokazuje u obliku crvenih kugli na modelu. Pogreške je potrebno ispraviti te opet započeti izradu novog modela s ispravljenim pogreškama. Pogreške se obično pojavljuju ukoliko program prepoznaje da su neki odnosi između rasjeda krivo postavljeni, ili je ploha rasjeda neuobičajeno zakrivljena pa je samim time i „kontaktna linija“ između dvaju rasjeda „prezakrivljena“. To se popravljiva promjenom vrijednosti opcije zaglađivanja plohe (engl. *smoothing*) ili ručnim pomicanjem i izgladivanjem točaka poligona u prostoru putem alata *Make/edit polygons*. Isto tako, česte pogreške predstavljaju i nepotpuni kontakti između dviju ploha rasjeda, koje se lako mogu popraviti ili produžavanjem poligona rasjeda alatom *Make/edit polygons* ili povećavanjem vrijednosti *Extrapolation distance* za određeni rasjed. Primjeri pogrešaka prikazani su na *Slikama 4-18 i 4-19*. Na *Slici 4-19* izraz „*kinked or sharp truncations*“ u ovom slučaju predstavlja vrlo zakrivljenje i nepravilne plohe rasjeda ili kontakte na rasjedima R59, R58 i R108 koje ne možemo očekivati da postoje u podzemlju.

Cat	Show	Object #1	Object #2	Show Error Locations	Description	Autoresolve	Recommendations
21	<input type="checkbox"/>	R110	R137	<input type="checkbox"/>	Potentially inconsistent truncations between faults	<input checked="" type="checkbox"/>	Use Autoreso
22	<input type="checkbox"/>	R119	R121	<input type="checkbox"/>	Potentially inconsistent truncations between faults	<input checked="" type="checkbox"/>	Use Autoreso
23	<input checked="" type="checkbox"/>	R59		<input type="checkbox"/>	Inconsistent faults contacts		Check/correct
24	<input checked="" type="checkbox"/>	R58		<input type="checkbox"/>	Problem detected on the tip loop of fault(s)		Check/correct
25	<input checked="" type="checkbox"/>	R59		<input type="checkbox"/>	Problem detected on the tip loop of fault(s)		Check/correct
26	<input checked="" type="checkbox"/>	R108		<input type="checkbox"/>	Kinked or sharp truncations		Check/correct
27	<input checked="" type="checkbox"/>	R58		<input type="checkbox"/>	Kinked or sharp truncations		Check/correct
28	<input checked="" type="checkbox"/>	R59		<input type="checkbox"/>	Kinked or sharp truncations		Check/correct
29	<input checked="" type="checkbox"/>	R58	R59	<input checked="" type="checkbox"/>	Inconsistent contact definition for fault(s)		Check/correct

Slika 4-18. Primjeri pogrešaka koje program javlja nakon izrade modela



Slika 4-19. „Kinked or sharp truncation“ – vrlo zakrivljenje i nepravilne plohe rasjeda

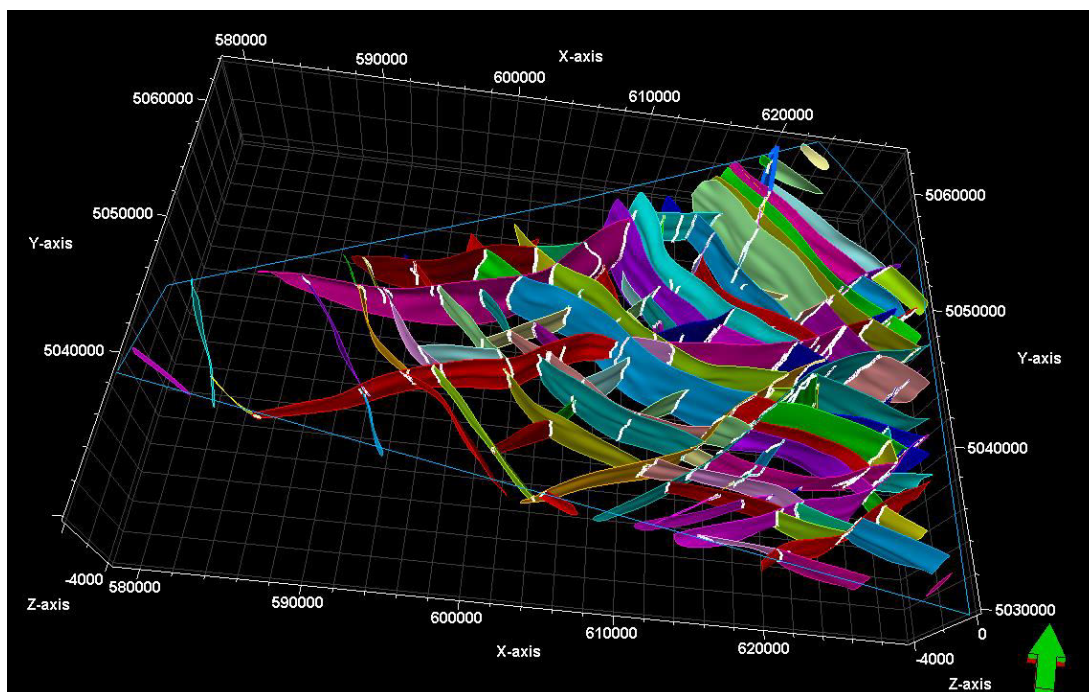
Model je završen kada nakon pokretanja izrade modela alatom *Horizon modeling* program više ne javlja nikakve povratne informacije u vezi samih nedostataka ili pogrešaka modela.

5. REZULTATI

Alatom Horizon Modeling u računalnom programu Petrel™ 2013 dobiveni su rezultati u obliku modela horizonata po plohi šest EK-markera i repera. Plohe su prikazane u trodimenzionalnom obliku gdje se jasno mogu vidjeti različite strukture, kao što su antiklinale i sinklinale. Veoma jasno vide se i pomaci duž određenih rasjeda. Skalom boja na slikama modela prikazane su dubine.

5.1. Strukturni okvir

Strukturni okvir sastoji od 134 normalna rasjeda. Na modelu se vide sve tri skupine rasjeda određene prema pružanju: SZ –JI, JZ – SI i S – I rasjedi. Strukturni model prikazan je na *Slici 5-1.*



Slika 5-1. Strukturni okvir

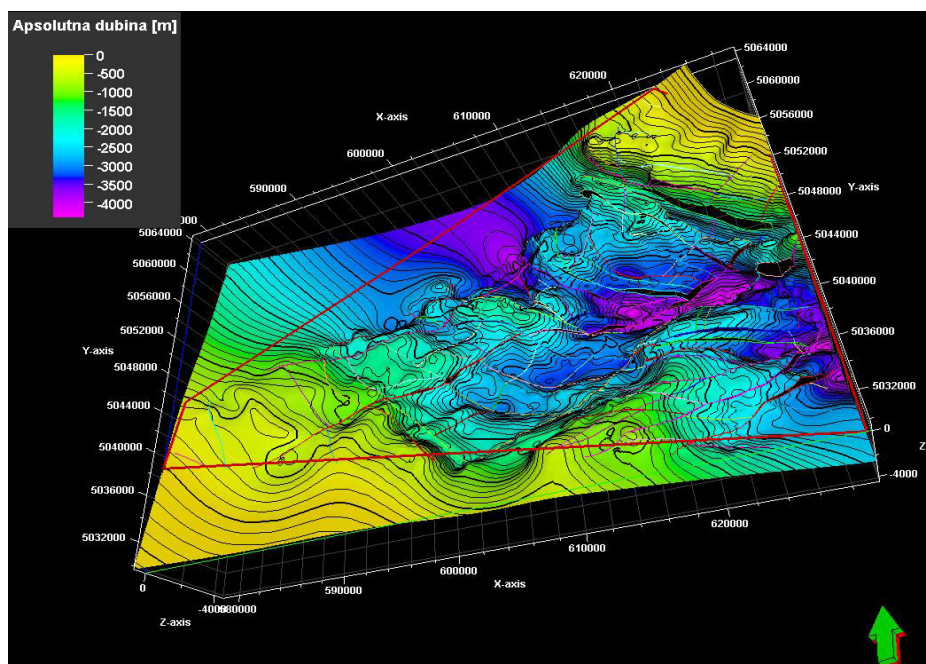
Najvažniji rasjedi su Glina – Stručec – Popovača (na *Slici 5-1.* prikazan narančastom bojom), dio Savskog rasjeda (u *Prilogu IX.* na profilu C – C' prikazan kao 8. slijeva) na središnjem dijelu te Južni potolinski rasjed (prikazan kao 7. slijeva u *Prilogu VIII* na

profilu B – B') na istočnom dijelu. Rasjed Glina – Stružec – Popovača (u *Prilogu VII* na profilu A - A' 20. rasjed slijeva i u *Prilogu VIII* na profilu B – B' kao 10. slijeva) razgraničuje područje. Rasjedi su prikazani u trodimenzionalnom obliku te se vrlo jednostavno može iščitati njihovo pružanje u dubinu. Na *slici 5-1* bijele linije označavaju kontakte između rasjeda.

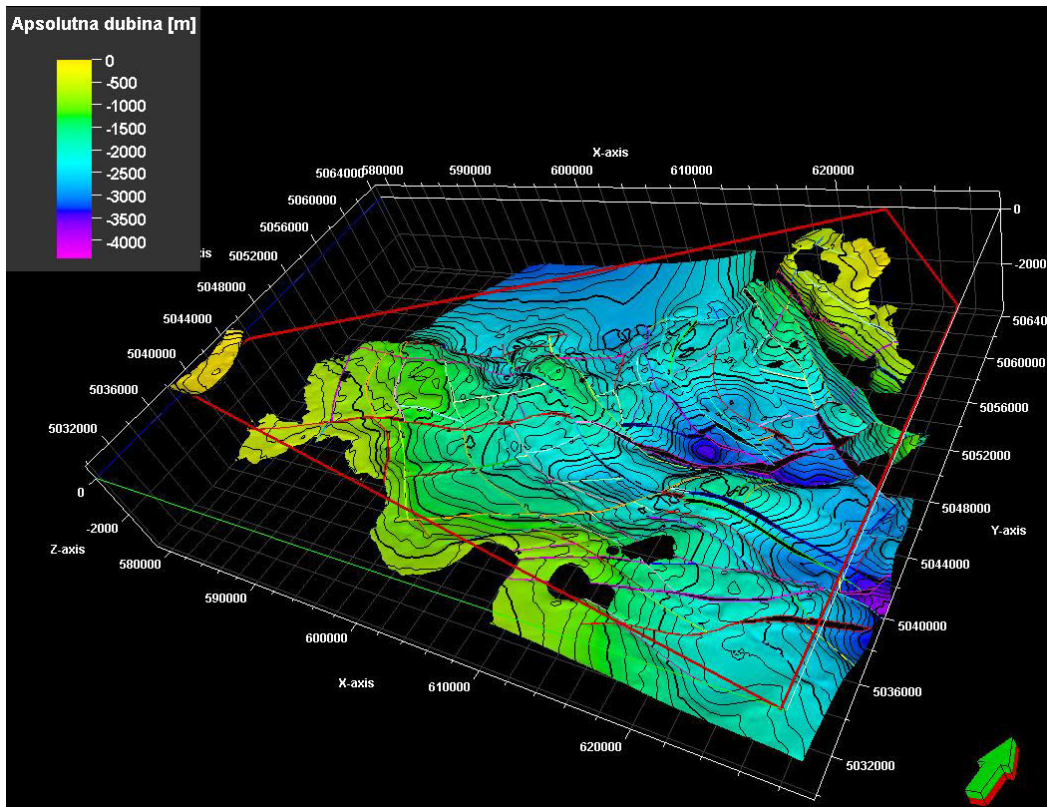
Treba napomenuti i kako detaljna strukturna obrada nije napravljena u ovome diplomskom radu već su ishodišni podatci za digitalizaciju bile strukturne karte.

5.2. Potpovršinski model (karte)

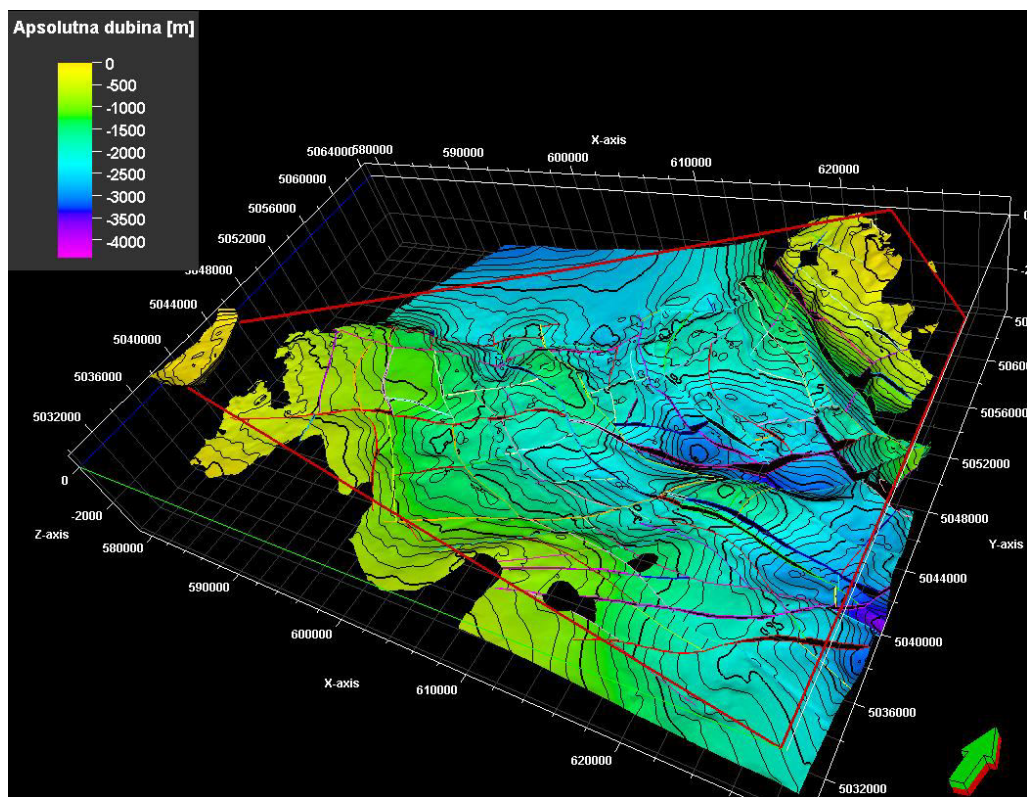
Potpovršinski modeli napravljeni su u trodimenzionalnim obliku s jasno vidljivim pomacima terena uzrokovanih rasjedima. Model je načinjen po plohama šest EK – repera i markera te su prikazani na *Slikama 5-2, 5-3, 5-4, 5-5, 5-6 i 5-7*. Računalni program je ekstrapolacijom modela izašao iz okvira područja modeliranja, pa se samim time ti dijelovi smatraju nerelevantnim i neće biti nadalje obrađeni. Isto tako, rubni dijelovi područja smatraju se manje točnima u odnosu na središnje dijelove područja modeliranja. Idući od dubine prema površini vidi se kako se postupno teren zaravnjuje, tj. kako se središnji dio depresije zapunjava.



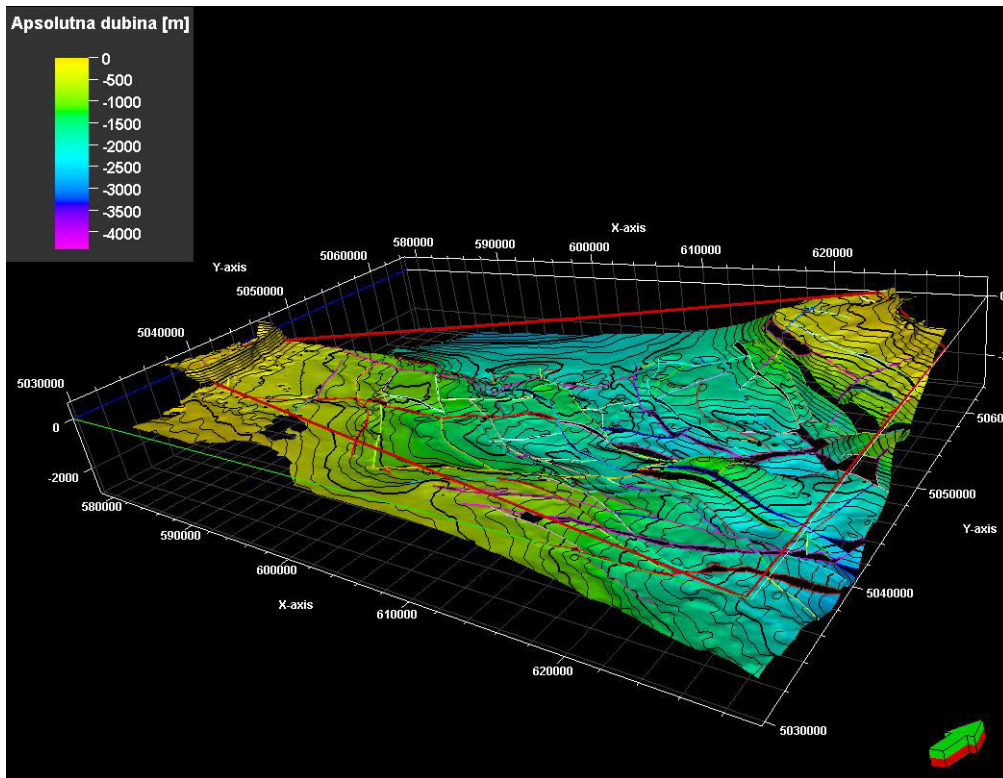
Slika 5-2. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK–repera „Tg“



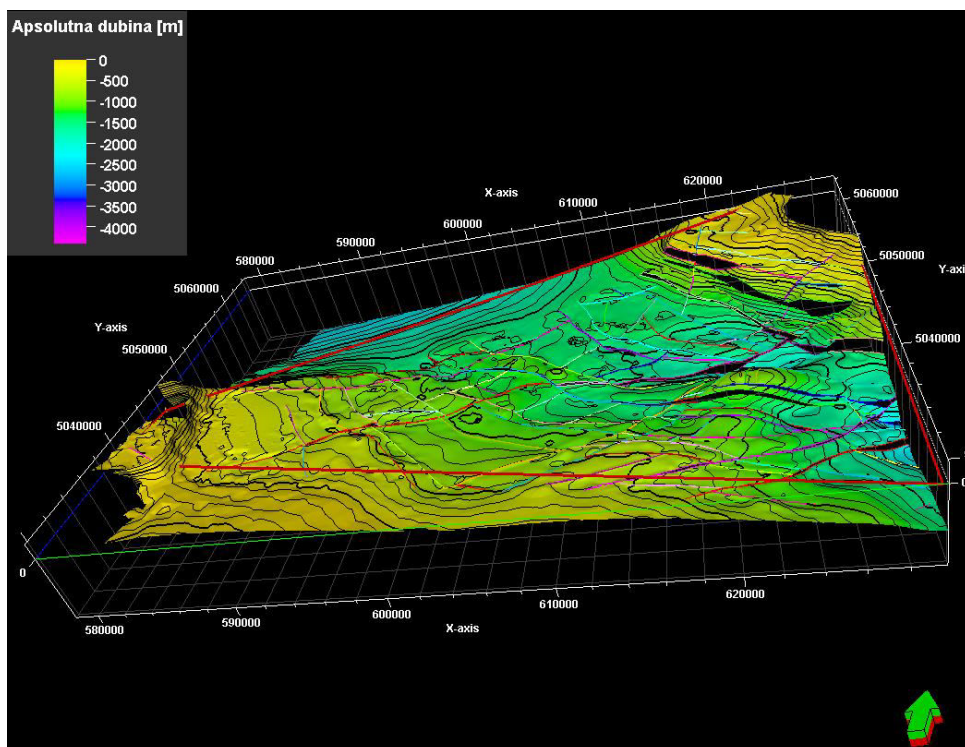
Slika 5-3. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK–markera „Rs7“



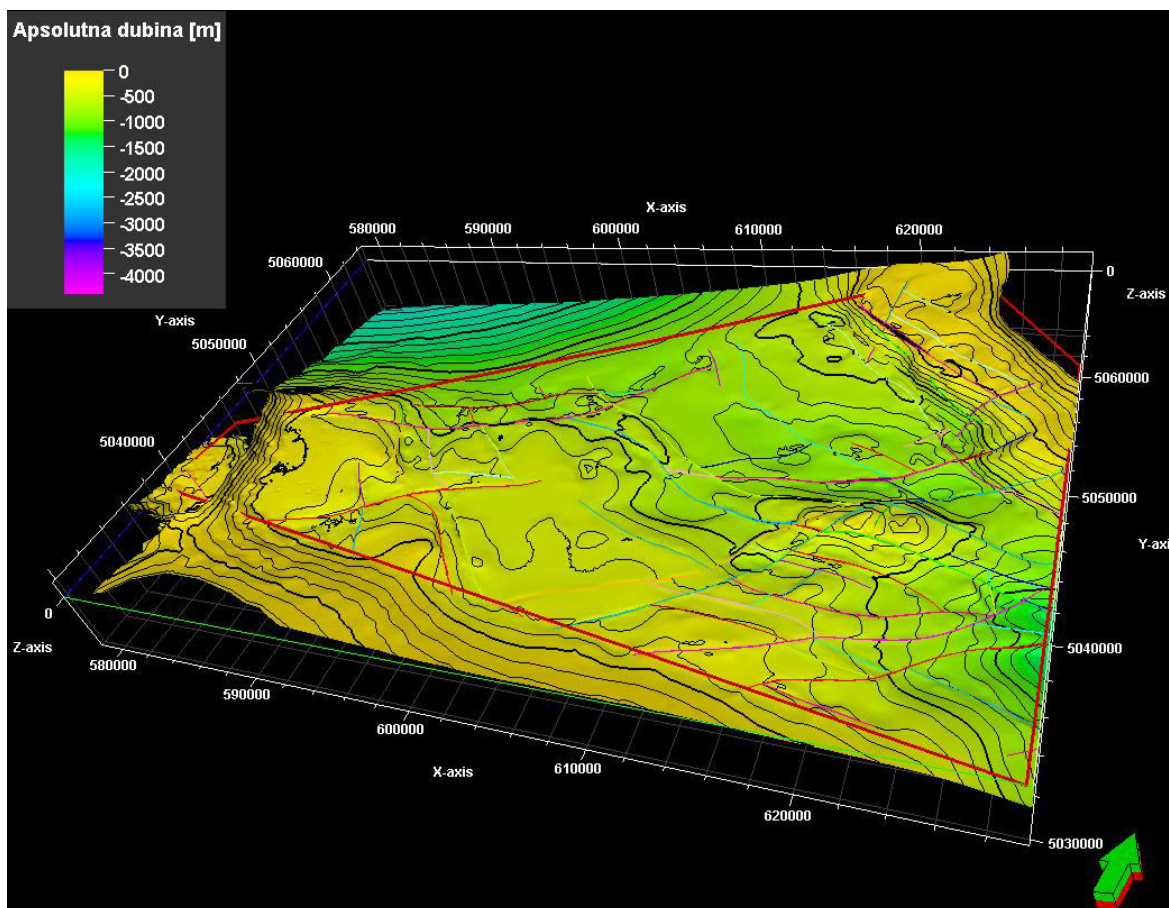
Slika 5-4. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK–markera „Rs5“



Slika 5-5. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK-markera „Z1“



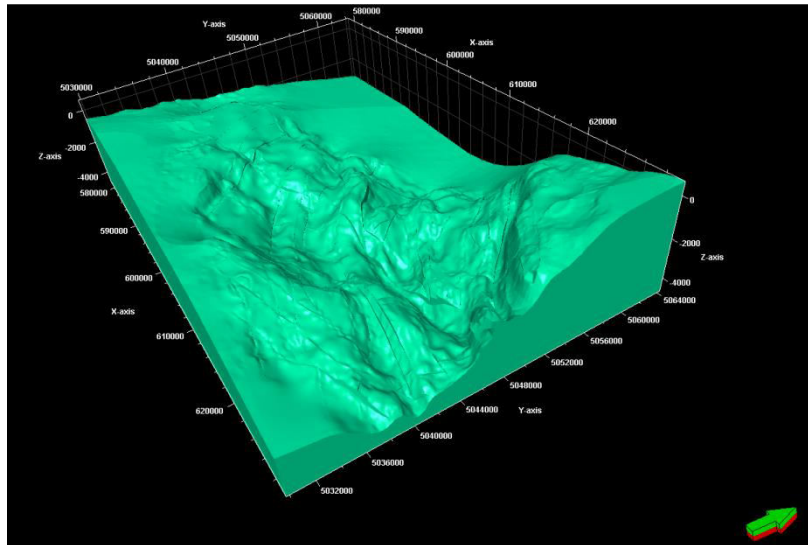
Slika 5-6. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK-markera „R ϕ “



Slika 5-7. Potpovršinski model (karta u 3D prikazu) po plohi EK-markera „α“

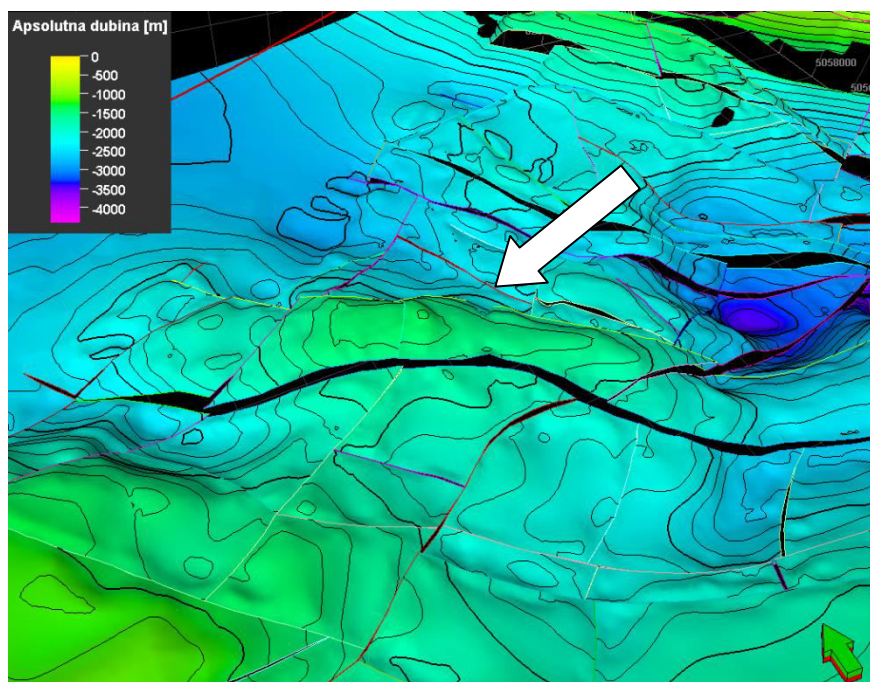
Na SI i JZ dijelu istraživanog područja uočava se kako je teren uzdignut djelovanjem rasjeda (*Prilog VII i IX*). U središnjem dijelu prevladava spušteno područje s nekoliko antiklinala koja ujedno predstavljaju i naftno-plinska polja Stružec, Žutica, Bunjani, Vežišće, Okoli i dijelom Voloder (*Prilozi od I – VI*).

Prema potpovršinskim modelima po plohama u software-u Petrel™ 2013 napravljene su 3D zone terena po plohama EK-markera i repera (*Slika 5-8*). Na ovoj slici i modelu vidi se utjecaj rasjeda na izgled terena.



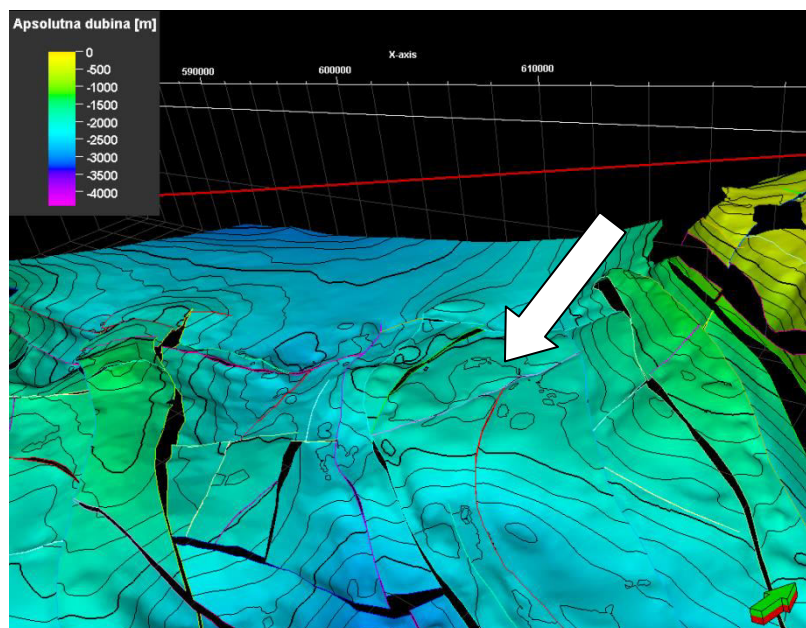
Slika 5-8. 3D zona terena po plohi EK-repera „Tg“

Sva polja nalaze se sjeveroistočno od poteza Odra – Oborovo – Martinska Ves. Dio te antiklinale koja se više ne raspoznaje po plohi EK-markera „Rφ“ prikazan je na *Slici 5-9*.



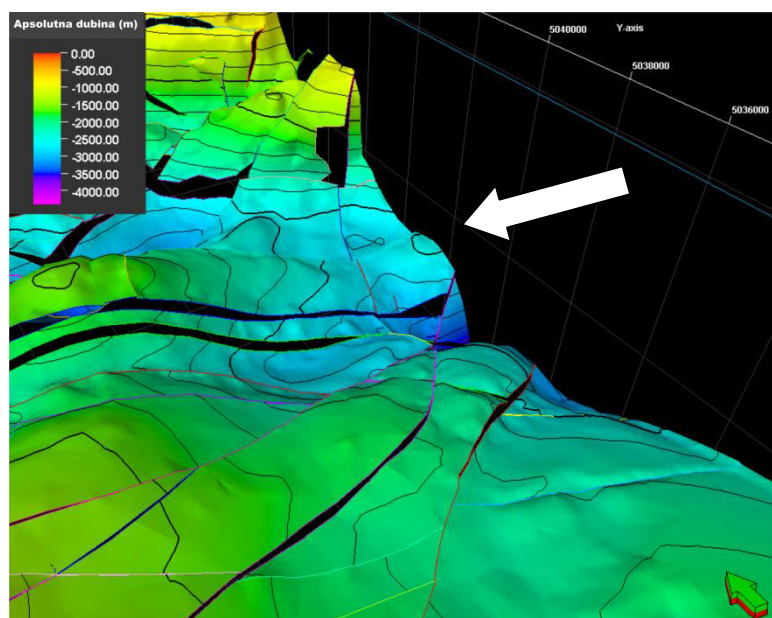
Slika 5-9. Antiklinala Martinska Ves po plohi EK-markera „Rs7“

Naftno-plinsko polje Žutica po plohi EK repera „Tg“ daje oblik strukturne terase (*Prilog I*) koja zatim na EK-markeru Rs7 prelazi u strukturni nos (*Prilog II*), te na plohama Rs5 (*Slika 5-10*) i Z' (*Prilog III. i IV.*) postaje antiklinala.

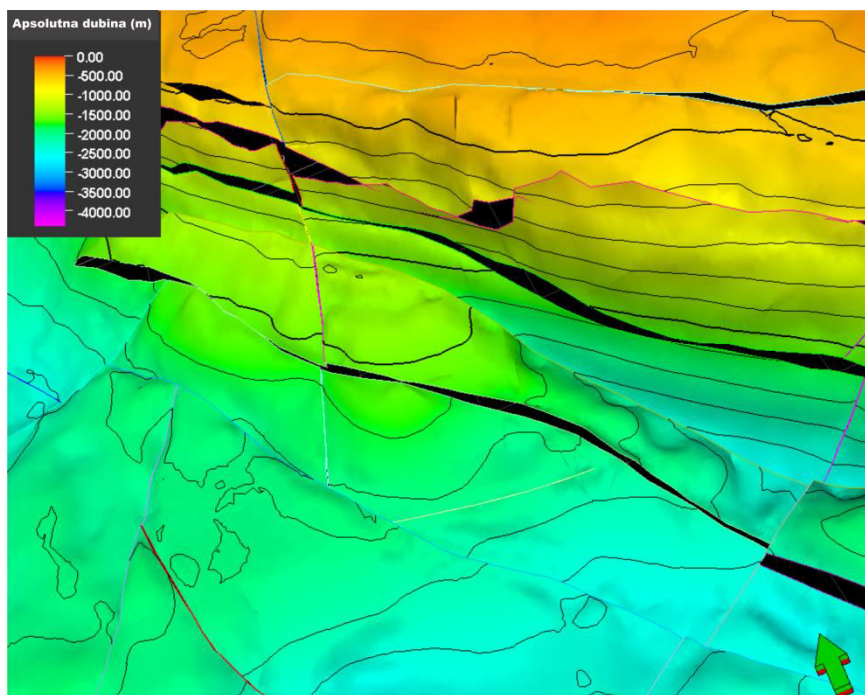


Slika 5-10. Antiklinala Žutica po plohi EK-markera „Rs5“

Strukture polja Voloder (*Slika 5-11*) i Vezišće (*Slika 5-12*) na Rs7 nema (*Prilog II*), tj. debljina formacije Prečec je ili minimalna ili nedostaje na ovome dijelu. Prema VELIĆ, (1980) moguće je da se radi o primarnom izdignuću u paloreljefu ili o sinsedimentacijskom izdizanju na malom prostoru.

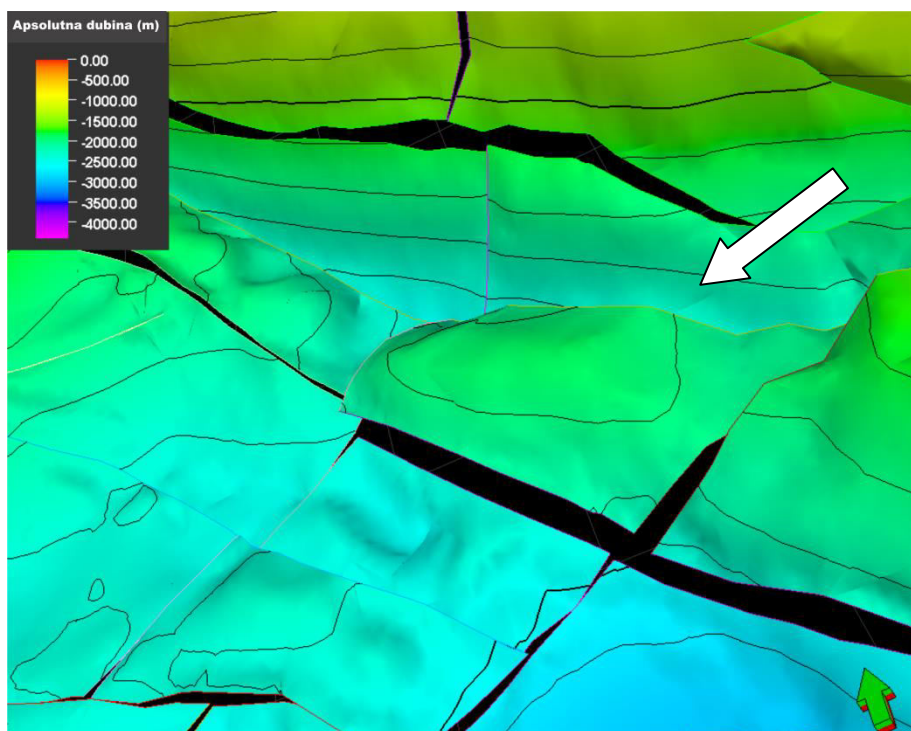


Slika 5-11. Dio antiklinale Voloder po plohi EK-markera „Rs5“



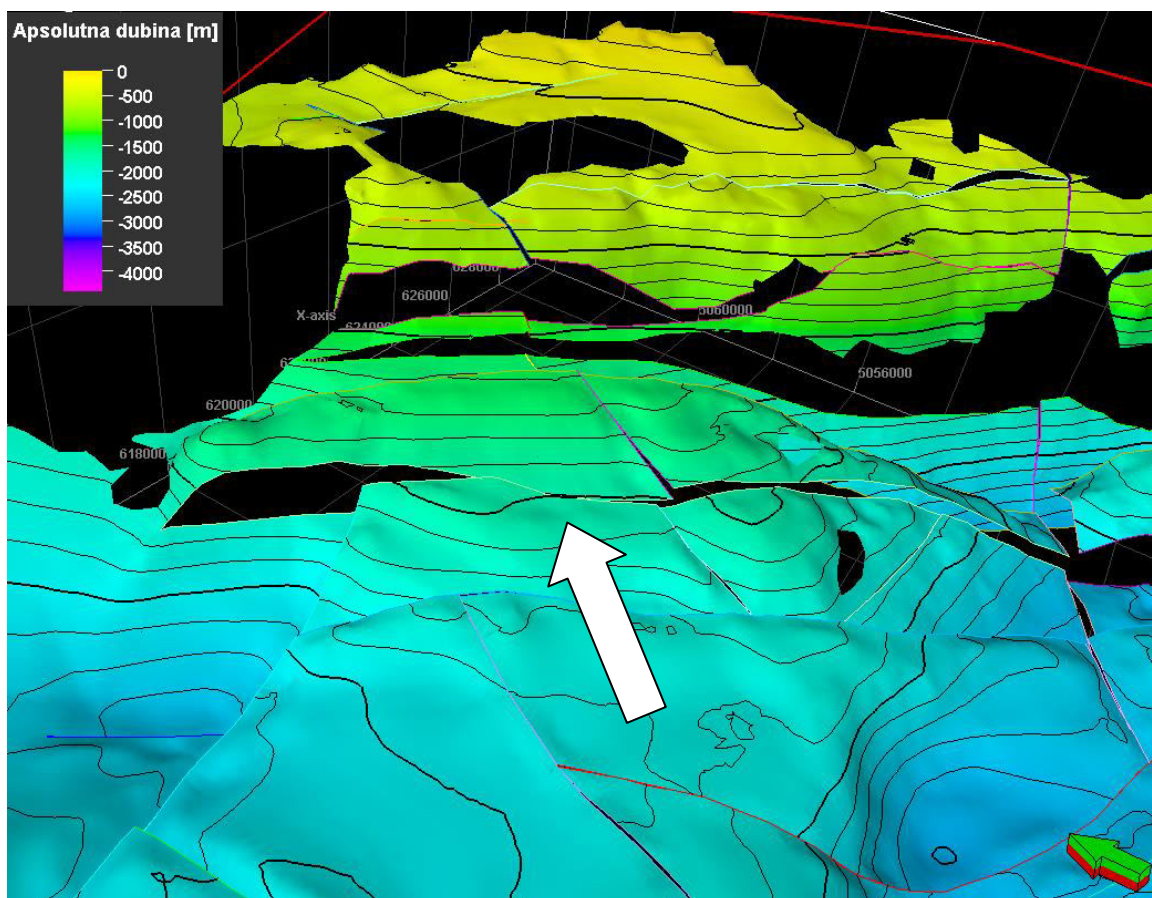
Slika 5-12. Antiklinala Vezišće

Plinsko polje Okoli predstavlja antiklinala čija je duža os orijentirana u pravcu sjeverozapad – jugoistok (*Slika 5-13*).



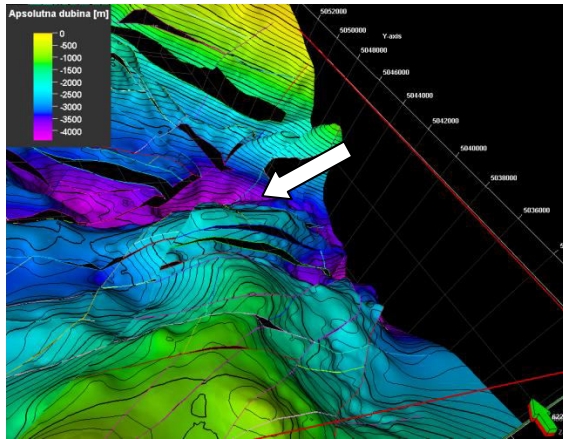
Slika 5-13. Antiklinala Okoli po plohi EK-markera „Rs5“

Jedno od najstarijih naftno – plinskih polja Bunjani ima oblik antiklinale koje je prikazan na *slici 5-14* te na *Prilozima II i III.*

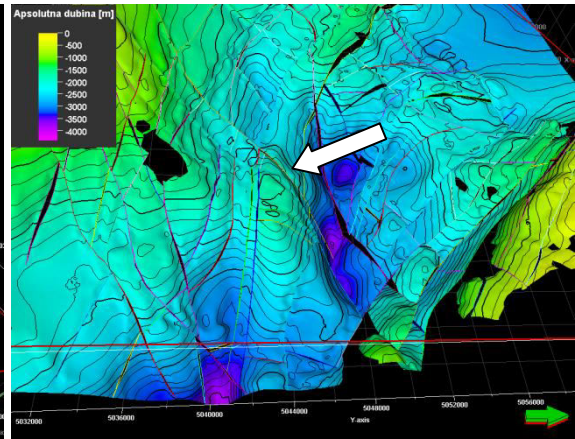


Slika 5-14. Antiklinala naftnoplinskog polja Bunjani po plohi EK-markera „Rs7“

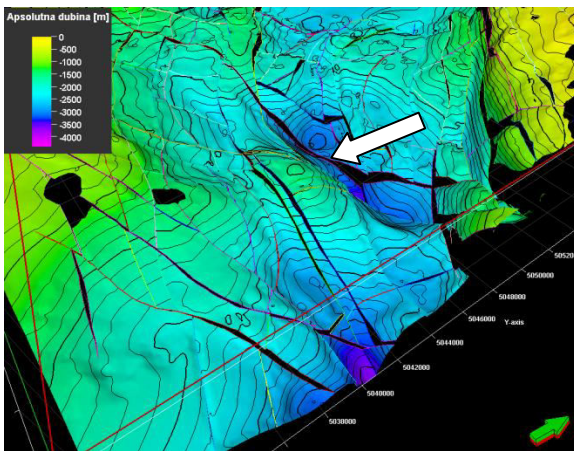
Stružec je polje u sklopu strukture Osekovo u Komarevsko – stružečkoj zoni. Predstavnik je skupine polja gdje je nafta zarobljena u rasjednutim anitkinalama koje se nalaze u dubljim i središnjim dijelovima depresija. Antiklinala je razdijeljena u tri bloka s poprečnim rasjedima pružanja sjever – jug na istočni, srednji i zapadni blok što se može vidjeti na profilu B – B' na jugoistočnom dijelu profila u *Prilogu VIII*. Polje je na *slici 5-15* prikazano po svim digitaliziranim ploham EK – markera i repera gdje se vidi antiklinalni oblik po plohi EK-repera „Tg“ pa sve do plohe EK-markera „ α “ (*Prilog I – VI*).



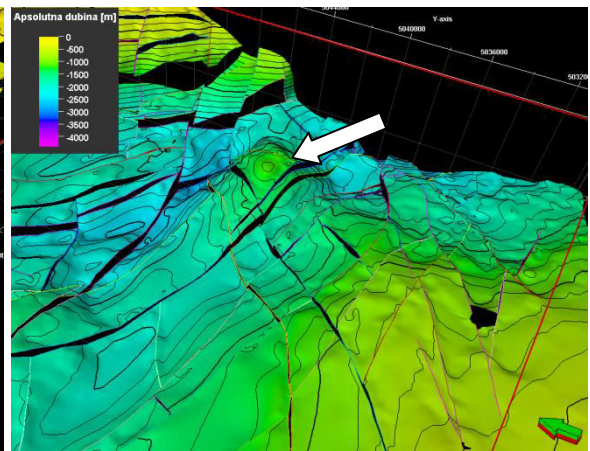
a)



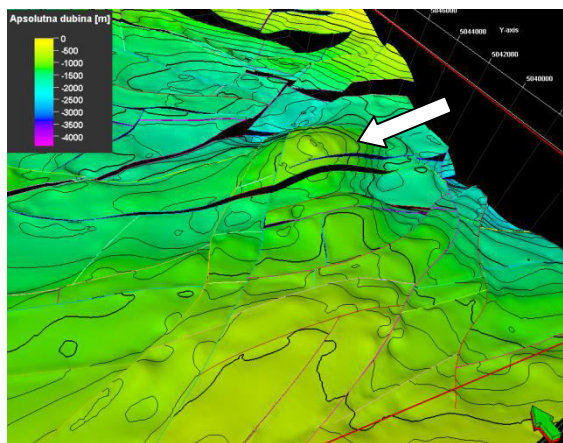
b)



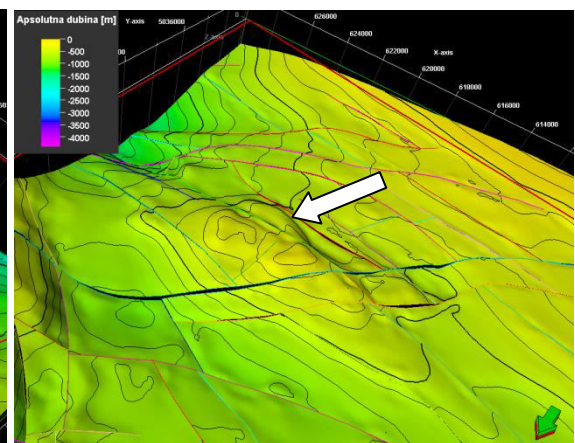
c)



d)



e)



f)

Slika 5-15. Antiklinala naftno-plinskog polja Stružec po plohi EK-repera i markera: a) „Tg“, b) „Rs7“, c) „Rs5“ d) „Z“, e) „Rφ“, f) „α“.

5.3. Izračunavanje statističkog odstupanja modela na mreži od 660 točaka između modeliranih i polaznih karata

Za računanje statističke vrijednosti odstupanja između ručno izrađenih strukturnih karata (VELIĆ, 1980) i modela po plohama šest ključnih EK-markera i repera korištene su vrijednosti dubina na obje karte na 660 prostorno raspoređenih točaka. Točke su točno postavljene na stratoizohipsama ručno crtanih strukturnih karata, kako bi očitane vrijednosti dubine bile precizne, a ne pretpostavljene. Treba napomenuti i da je broj točaka jednako raspodijeljen na svih šest strukturnih karta. Dakle, za istu prostorno određenu točku zadanih koordinatnih vrijednosti (x i y) očitava se vrijednost Z (treća koordinatna os) koja predstavlja vrijednost dubine na modelu i na ručno nacrtanim kartama. Za svaku pojedinu točku računa se postotak odstupanja napravljenog modela od ručno izrađenih strukturnih karata. Izračunavanjem srednje vrijednosti (aritmetičke sredine) postotaka odstupanja svih točaka dobila su se prosječna odstupanja između modela i ručno izrađenih strukturnih karata po svakoj karti zasebno te sveukupno prosječno odstupanje.

Ako za vrijednost očitane dubine pojedine točke na ručno izrađenim strukturnim kartama postavimo $Z(A)$, a za vrijednost očitane dubine pojedine točke na dobivenim modelima $Z(B)$, formula po kojoj je izračunavan postotak odstupanja modela od strukturne karte glasi:

$$\left| \frac{Z(A)_i - Z(B)_i}{Z(A)_i} \right| = X \cdot 100$$

(5-1.)

gdje je X vrijednost odstupanja koja pomnožena sa 100 daje postotak odstupanja. Vrijednosti očitanih dubina moraju biti postavljene kao apsolutne vrijednosti zbog toga što ponekad možemo dobiti negativnu vrijednost rezultata ovisno o $Z(B)$. Srednje vrijednosti postotka odstupanja modela od ručno izrađenih strukturnih karata po plohi određenog EK-markera i repera pokazane su u **Tablici 5-1**. Vrijednosti su izračunate pomoću jednadžbe aritmetičke sredine postotnog odstupanja u svim zbrojenim točkama (5-2.) i gdje je to potrebno, zaokružene na 4 decimale.

$$\frac{\left(\sum_{i=1}^{660} \left| \frac{Z(A)_i - Z(B)_i}{Z(A)_i} \right| \right) \cdot 100}{\overline{Z(A)}}$$

(5-2.)

gdje je: Z (A) - vrijednost očitane dubine pojedine točke na ručno izrađenim strukturnim kartama, Z (B) - vrijednost očitane dubine pojedine točke na dobivenim modelima.

Tablica 5-1. Srednje vrijednosti postotka odstupanja modela od ručno izrađenih strukturnih karata.

Ploha EK – markera/EK – repera	Srednja vrijednost odstupanja (%)
α'	0,5939 %
R ϕ	1,3291 %
Z'	0,4261 %
Rs5	0,1834 %
Rs7	0,545 %
Tg	0,8309 %

Primjećuje se kako točke koje se nalaze u blizini rasjeda, kontakata rasjeda ili dijelova terena gdje je teren zbog djelovanja rasjeda deformiran i vidljivo pomaknut, pokazuju veće vrijednosti odstupanja od onih točaka koje se nalaze na zaravnjenim dijelovima terena, te onim točakama koje se ne nalaze u blizini rasjeda i blizu kontakata između rasjeda (npr. središnji dio tektonskog bloka). Uzrok tome su preoblikovani krajnji dijelovi rasjeda prilikom pravljenja strukturnog okvira alatom *Fault framework modeling* nastalih zbog povećanja opcije ekstrapolacije, te ručno pomaknutih kontakata između rasjeda, opisanih u prethodnom poglavlju, prijeko potrebnih da bi računalni program Petrel™ 2013 izradio model.

Prosječna vrijednost odstupanja modela od ručno izrađenih strukturnih karata (VELIĆ, 1980) iznosi 0,6514 %.

6. ZAKLJUČAK

U okviru ovog diplomskog rada digitalizirani su i obrađeni podatci iz prijašnjih strukturnih karata (VELIĆ, 1980) dobivenih na temelju dotadašnjih površinskih geoloških istraživanja, dubinsko – geoloških i geofizičkih istraživanja te bušenja. Napravljeni trodimenzionalni prikazi strukturnih odnosa, razvoja geoloških struktura po različitim plohama EK – repera odnosno markera, te pomaci terena uzorkovani rasjedima uvelike obogaćuju sliku i razumijevanje dijela podzemlja zapadnog dijela Savske depresije. Računanjem prosječne vrijednosti odstupanja modela od ručno izrađenih strukturnih karata koja iznosi 0,6514 % pokazana je velika točnost i preciznost same obrade podataka. Ova brojka može se smatrati uspješnom zbog toga što vrijednosti odstupanja veće od 5 % pokazuju veliku razliku u dubini između karata i modela. Točke koje se nalaze u blizini rasjeda ili kontakata rasjeda pokazuju veće vrijednosti odstupanja od onih točaka koje se nalaze na zaravnjenim dijelovima terena, te onim točkama koje se ne nalaze u blizini rasjeda i blizu kontakata između rasjeda (npr. središnji dio tektonskog bloka). Provedena digitalizacija, te svi digitalizirani podatci iz ovoga diplomskog rada mogu poslužiti za daljnu detaljniju geološku obradu podataka u računalnom programu Petrel ili u neki drugim sličnim programima. Podatci mogu poslužiti za regionalna istraživanja te izradu detaljnijih modela i karata manjih područja. Potpovršinsko modeliranje može poslužiti i za pronalaženje stratigrafskih zamki ugljikovodika koje uvelike ovise i o paleogeomorfološkim, taložnim ili tektonskim podacima, uz uporabu dodatnih podataka te omogućuje korištenje starijih, javno dostupnih radova, prvenstveno za potrebe regionalnih istraživanja.

7. LITERATURA

AKSIN, V. & FILJAK, R., 1963. Razvoj i rezultati istraživanja nafte i plina u Jugoslaviji. – Nafta, 14/4, 117-123 str.

BAKETARIĆ, T., 2015. Subsurface modelling of the Neogene – Quaternary sediments based on digitalization of regional geological maps. XVIII. Congress of Hungarian Geomathematics and the VII. Congress of Croatian and Hungarian Geomathematics, 8 str., Morahalom

ĆORIĆ S., PAVELIĆ, D., ROGL, F., MANDIĆ, O., VRBAC S., AVANIĆ, R., JERKOVIĆ, L. & VRANJKOVIĆ, A., 2009. Revised Middle Miocene datum for initial marine flooding of Northern Croatian Basin (Pannonian Basin System, Central Paratethys). Geol. Croat., 62/1, str. 31-43, Zagreb

CVETKOVIĆ, M., 2006. Petrološke i petrogenetske značajke višestruko metamorfoziranih amfibolita Moslavačke gore (Petrologic and petrogenetic characteristic of polyphase metamorphosed amphibolites from Mt. Moslavačka Gora). Zagreb: Rudarsko – geološki – naftni fakultet, 27 str.

CVETKOVIĆ, M., 2007. Naftnogeološka primjena neuronskih mreža na primjeru ležišta u polju Klošar. Diplomski rad. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet, 57 str.

CVETKOVIĆ, M., 2013. Naftnogeološki potencijal i litostratigrafska razradba trećega neogensko-kvartarnog megaciklusa u Savskoj depresiji (Lithostratigraphic Units of the Third Neogene- Quaternary Megacycle in the Sava Depression and Their Petroleum Potential). Doktorski rad. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet, 175 str.

KRANJEC, V., 1972. Subsurface structures in the Sava and Drava river depressions and their classification. – Bulletin scientifique, sec. A, 17/11-12, 362-364 str., Zagreb.

LUČIĆ, D., SAFTIĆ, B., KRIZMANIĆ, K., PRELOGOVIĆ, E., BRITVIĆ, V., MESIĆ, I., TADEJ, J., 2001 The Neogene evolution and hydrocarbon potential of Pannonian basin, Marine and Petroleum Geology 18, 133-147

MALVIĆ T., 2006. Middle Miocene depositional model in the Drava Depression described by geostatistical porosity and thickness maps (case study: Stari Gradac-Barcs Nyugat Field). Rud.-geol.-naft. zbornik, 18: 63–70

MALVIĆ, T. & VELIĆ, J. 2011. Neogene Tectonics in Croatian Part of the Pannonian Basin and Reflectance in Hydrocarbon Accumulations. –SCHATTNER, U. (ed.): New Frontiers in Tectonic Research: At the Midst of Plate Convergence, InTech, Rijeka, str. 352

PAVELIĆ, D., 2001. Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. Basin Research, 13, 3, 359–376 str.

PAVELIĆ, D., 2002. The south-western boundary of Central Paratethys. Geologia Croatica, 55, 1, 83-92 str.

PETRINEC, Z., 2013. Strane i kognatne enklave u krednim granitoidima Moslavačke gore: mikrostrukturni i geokemijski uvid u kompleksnu evoluciju moslavačkog kristalina (Foreign and cognate enclaves inside Cretaceous granitoids: microstructural and geochemical insight into complex evolution of the Moslavačka Gora crystalline). Doktorska disertacija. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet, 264 str.

PRELOGOVIĆ, E., SAFTIĆ, B., KUK, V., VELIĆ, J., DRAGAŠ, M. & LUČIĆ, D., 1998. Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian basin. Tectonophysics, 297, 283–293 str.

RIMAC, I., 1962. Regionalni i gravimetrijski premjer Zagreb - Stručec. Ibid., Zagreb

ROYDEN, L., H., 1988. Late Cenozoic Tectonics of the Pannonian Basin System. AAPG Memoir 45 (Chap. 3) - The Pannonian Basin (eds. Royden, L., H. & Horváth, F.), p. 27-48, AAPG, Tulsa.

SCHMIDT, S; KLARIĆ-ČUSTOVIĆ, R; KAPETANOVIĆ, D; BABIĆ, N., 2000. Diagnostic procedures in organic non-neoplastic disorders of the small intestine. II Hungarian -Croatian radiological symposium / Liječnički zbor (ed). - Zagreb : Liječnički zbor , 2000. str 134.

SAFTIĆ, B. & MALVIĆ, T., 2008. Dubinsko kartiranje. Fakultetska skripta. Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 46 str.

SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., SZTANO, O., JUHAS, G. & IVKOVIĆ, Ž., 2003. Tertiary subsurface facies, source rocks and hydrocarbon reservoirs in the SW part of the Pannonian Basin (northern Croatia and south-western Hungary). *Geologia Croatica*, 56, 1, 101-122 str

ŠIMON, J., 1973. O nekim rezultatima regionalne korelacije litostratigrafskih jedinica u jugozapadnom području Panonskog bazena. *Nafta*, 24/(12), 623 – 630 str.

ŠIMON, J., 1980. Prilog stratigrafiji u taložnom sustavu pješčanih rezervoara Sava-grupe naslaga mlađeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske. – Disertacija, RGN fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, 66 str.

ŠPELIĆ, M., MALVIĆ, T. , SARAF, V., ZALOVIĆ, M. 2014. Remapping of depth of e-log markers between Neogene basement and Lower/Upper Pannonian border in the Bjelovar Subdepression. *Journal of maps*, 10, str. 1-8

VELIĆ, J., 1980. Geološka građa zapadnog dijela Savske depresije. Doktorska disertacija. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet, 137 str.

VELIĆ, J., 2007. Geologija ležišta nafte i plina. Zagreb: Rudarsko – geološko – naftni fakultet

VELIĆ, J., WEISSER, M., SAFTIĆ, B., VRBANAC, B. & IVKOVIĆ, Ž., 2002. Petroleum-geological characteristics and exploration level of the three Neogene depositional megacycles in the Croatian part of the Pannonian basin. *Nafta*, 53/6–7, 239–249 str., Zagreb.

VRBANAC, B., 2002. Facies and facies architecture of the Ivanic Grad Formation (late Pannonian)—Sava Depression, NW Croatia. *Geologia Croatica*, 55, 1, 57–77 str.

TOMLJENOVIĆ I CONTOS, 2001. Neogene–Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko zagorje and Karlovac Basins, Croatia).– *Int. J. Earth. Sci.*, 90, 560–578.

TAJDER, M., 1970. Noviji pogledi sustava i geneze eruptiva i metamorfita Papučko - psunjskog gorja (Slavonija). Zbornik radova Prvog znan. sabora Slavonije i Baranje, Osijek, str. 107-126.

ZAGORAC, Ž., 1975. Interpretacija gravimetrijskog reziduala i njena primjena u području Savske i Dravske potoline. Disertacija, Rud.-geol. Fakultet, Sveučilišta u Beogradu

ZAGORAC, Ž., ĐURESAK, S. & RIMAC, I., 1968. Gravimetrija u kompleksu geofizičkih istraživanja nafte tercijara Hrvatske. Simp. o nafti, Jugosl. akad. znan. umjetn., 31-40, Zagreb

Internetski izvori:

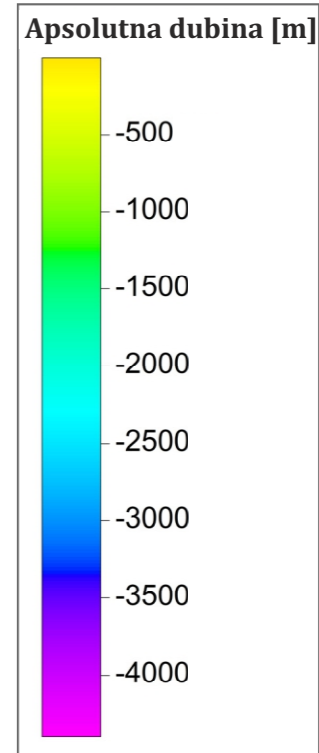
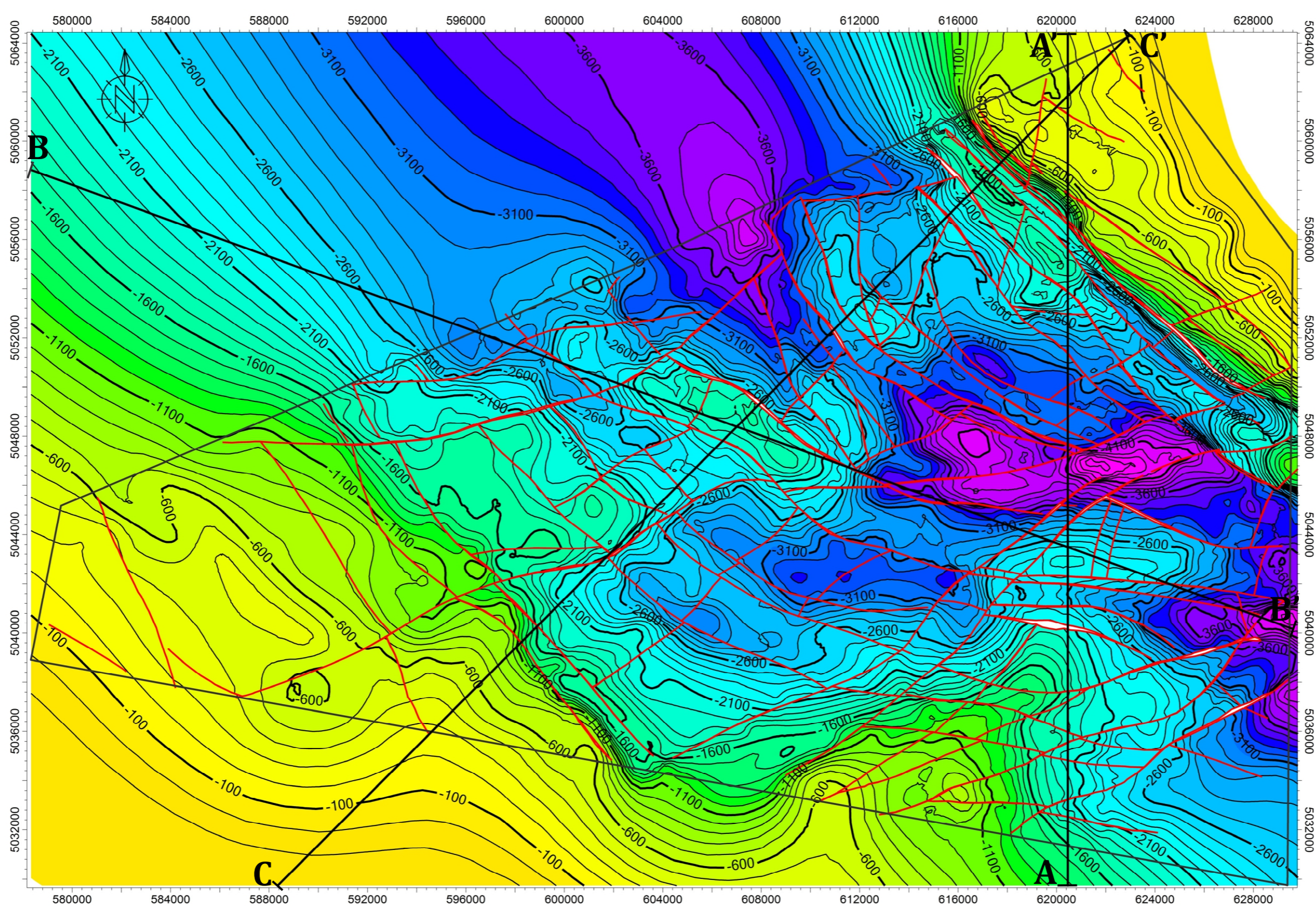
<http://www.software.slb.com/products/platform/Pages/petrel.aspx> - 1. lipnja u 16:00 sati

<http://www.esri.com/software/arcgis> - 14. travnja u 17:00 sati

<http://www.rgn.hr/hr/istrazivanje/racunalni-programi/popis-racunalnih-programa> - 10. lipnja 14:30 sati

<https://confluence.qps.nl/pages/viewpage.action?pageId=29855173> - 10. svibnja u 12:30 sati

STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-REPERA Tg



Legenda

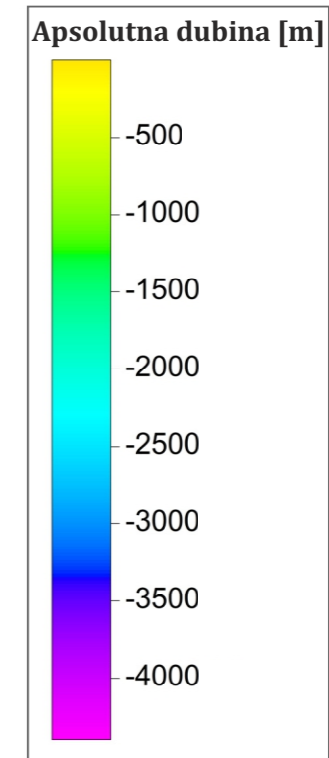
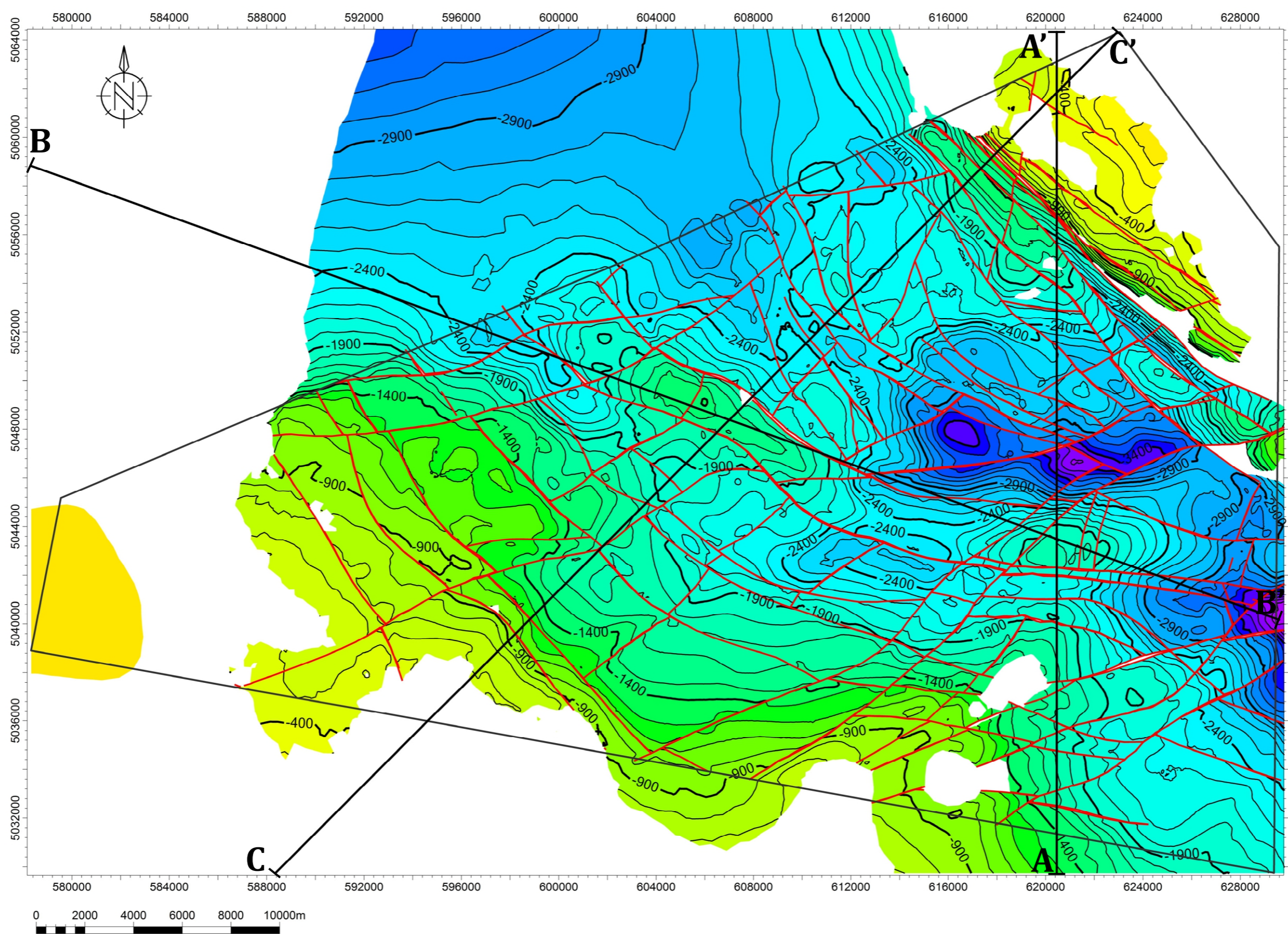
- područje modeliranja
- trasa profila
- 1100 izobate
- rasjed

Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD
 Tomislav Baketarić

Prilog I: Strukturna karta po plohi EK-repera Tg

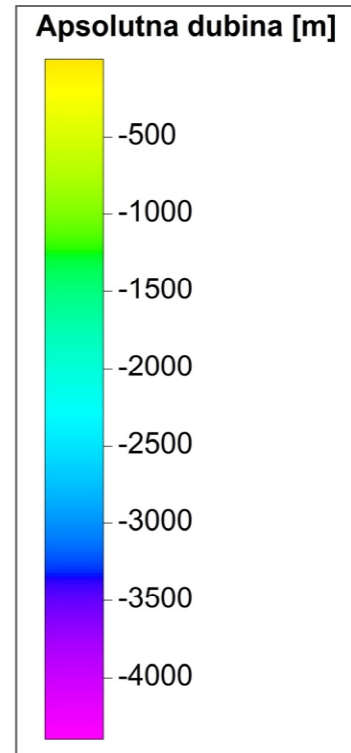
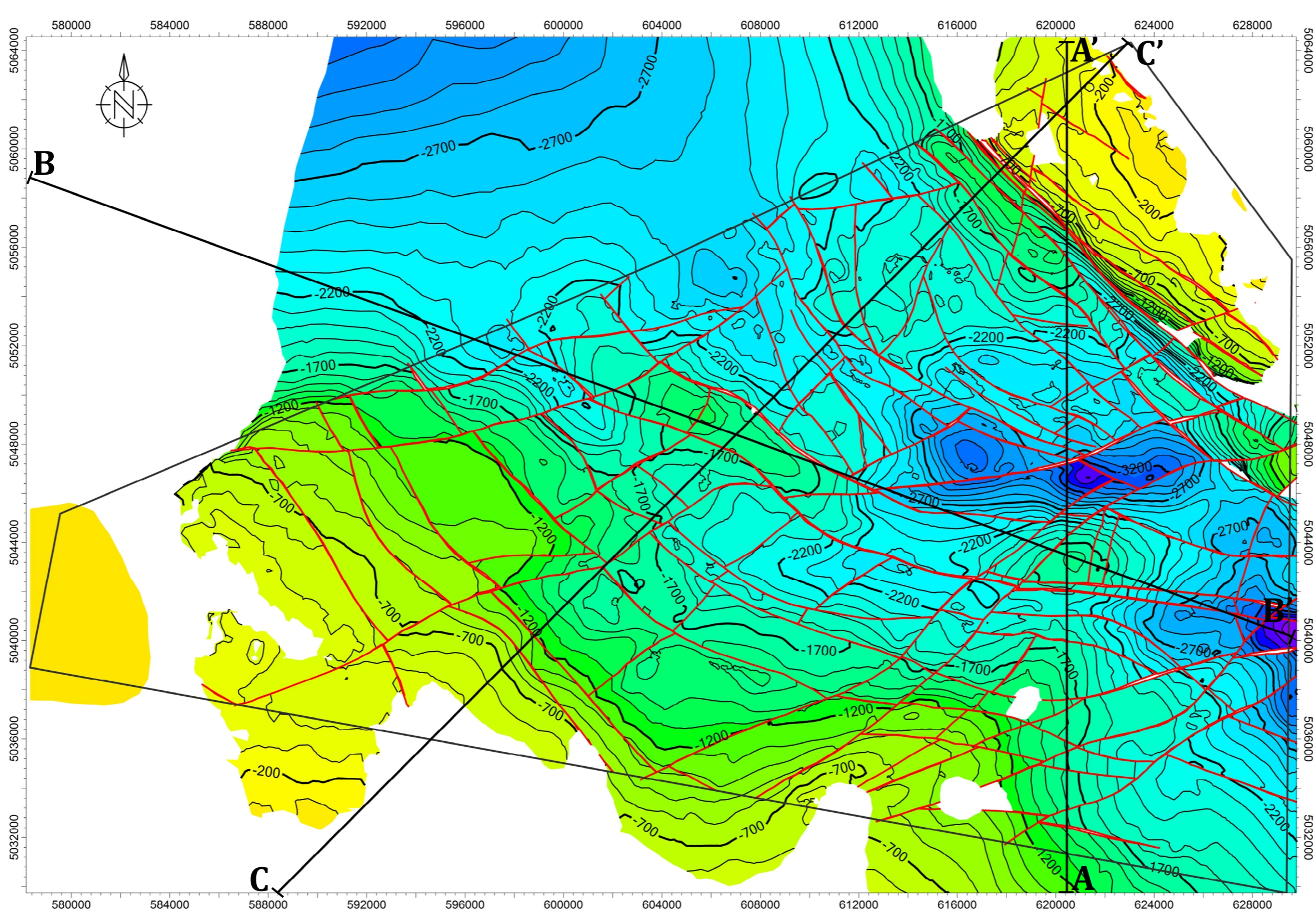
STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-MARKERA Rs7



Legenda

- područje modeliranja
- trasa profila
- stratoizhipse
- rasjed

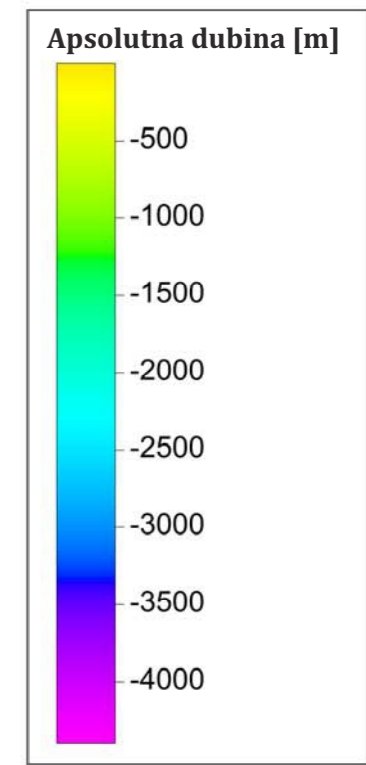
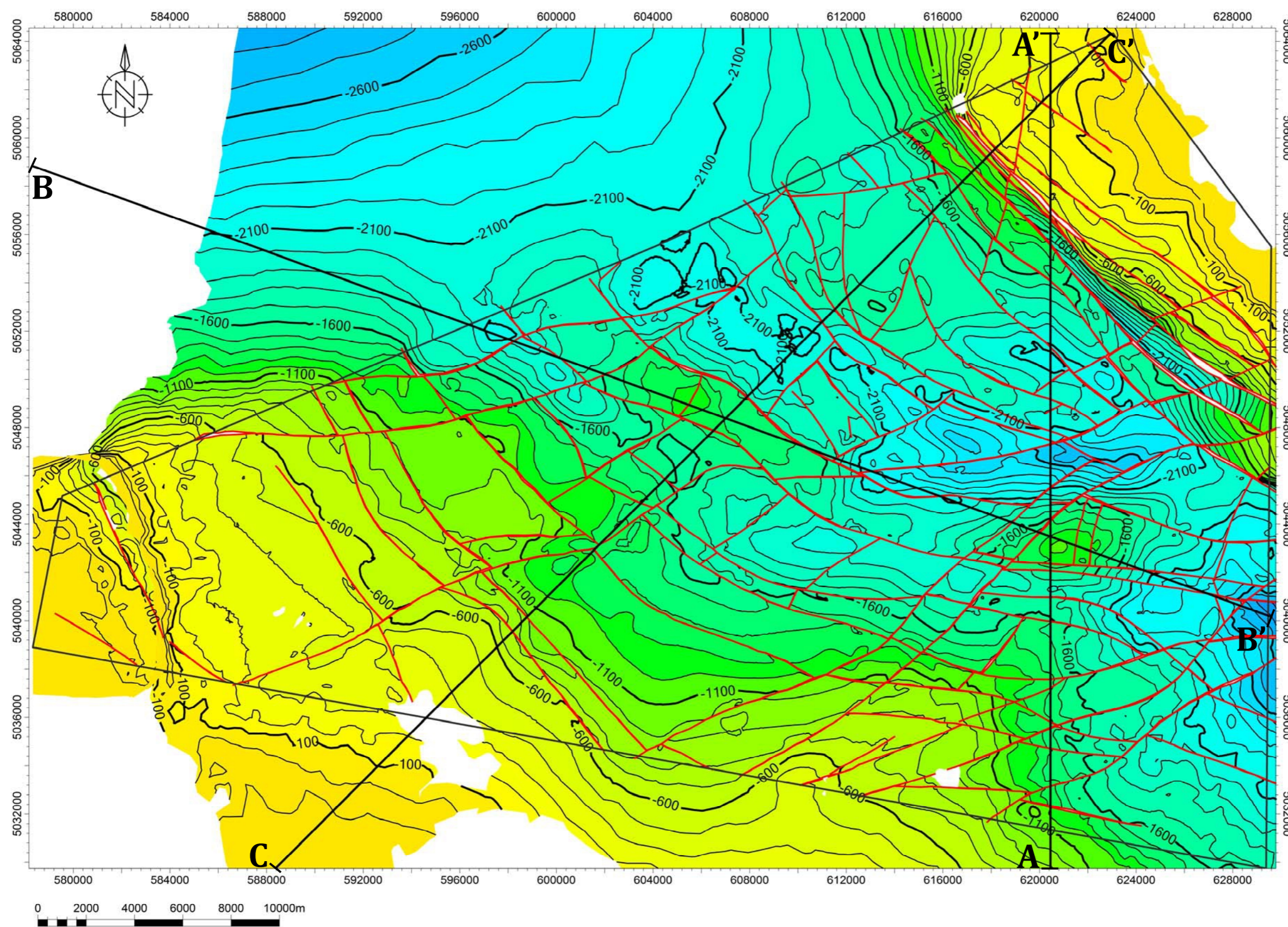
STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-MARKERA Rs5



Legenda

- područje modeliranja
- trasa profila
- stratoizohipse
- rasjed

STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-MARKERA Z'



Legenda

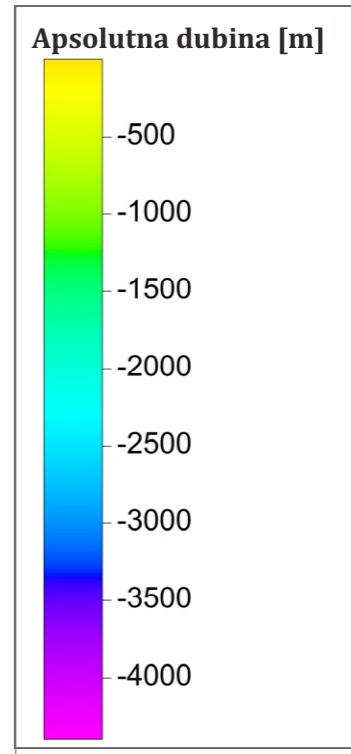
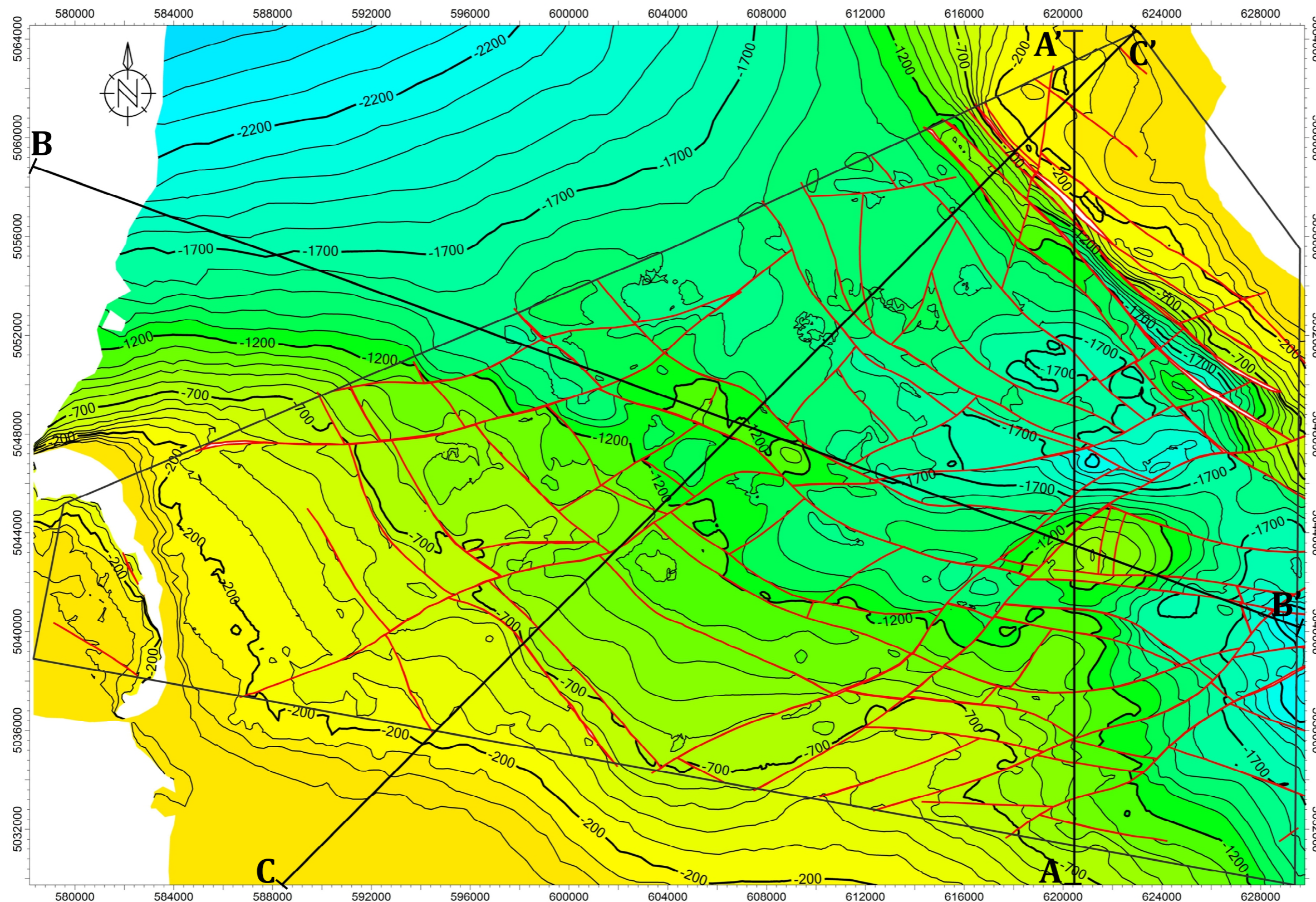
- područje modeliranja
- trasa profila
- stratoizohipse
- rasjed

Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET




DIPLOMSKI RAD
 Tomislav Baketarić


Prilog IV: Strukturna karta po plohi EK-markera Z'

STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-MARKERA R ϕ



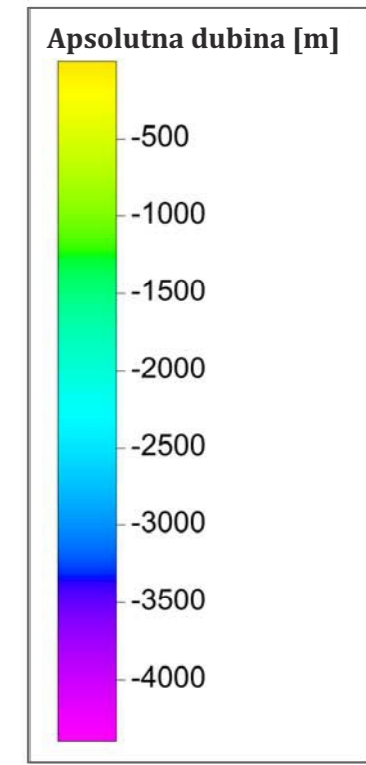
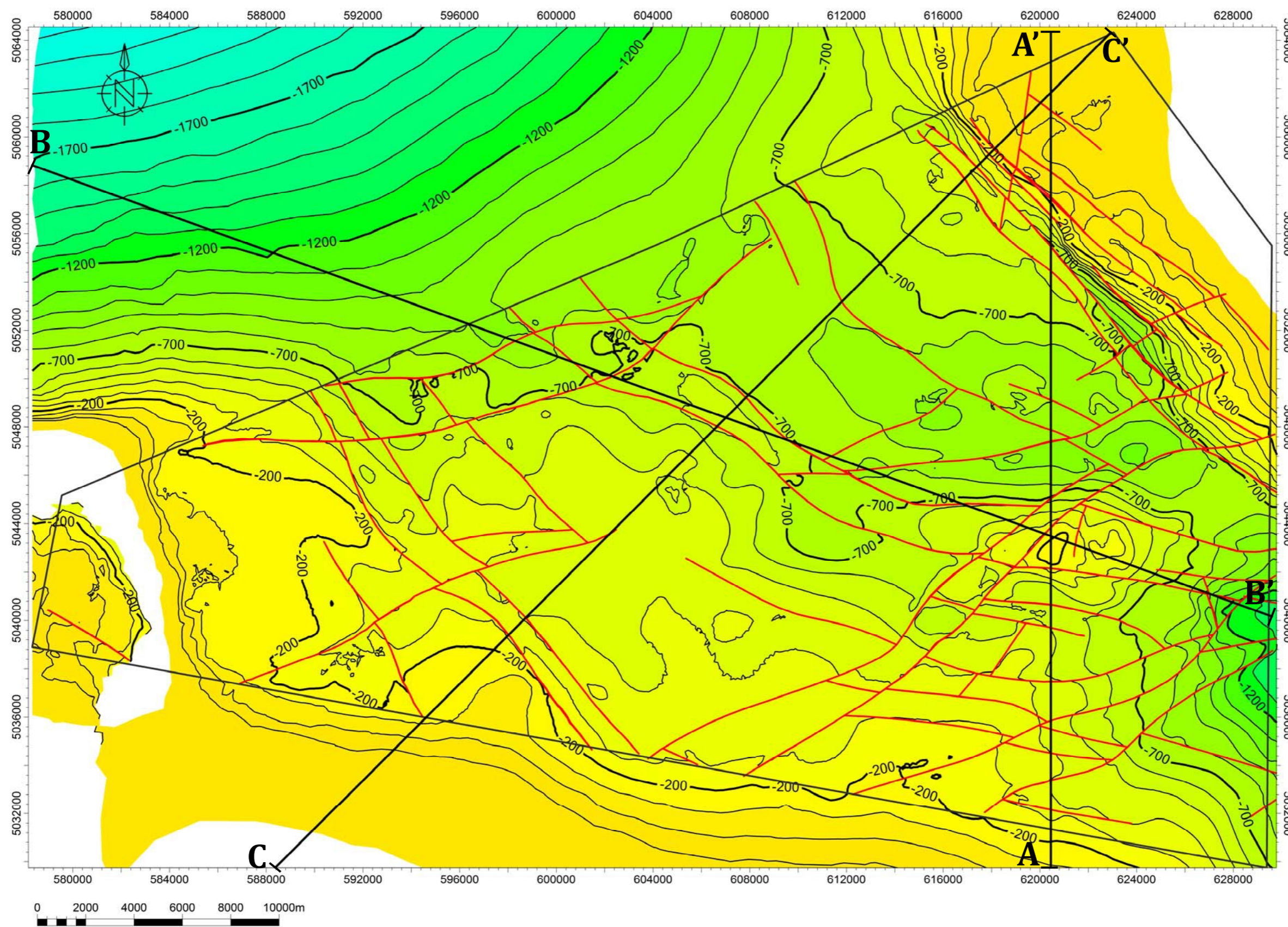
Legenda

 područje modeliranja	 trasa profila	 stratoizohipse	 rasjed
--	---	---	--

 Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET	DIPLOMSKI RAD Tomislav Baketarić
---	--

Prilog V: Strukturna karta po plohi EK-markera R ϕ

STRUKTURNA KARTA PO PLOHI EK-MARKERA α'



Legenda

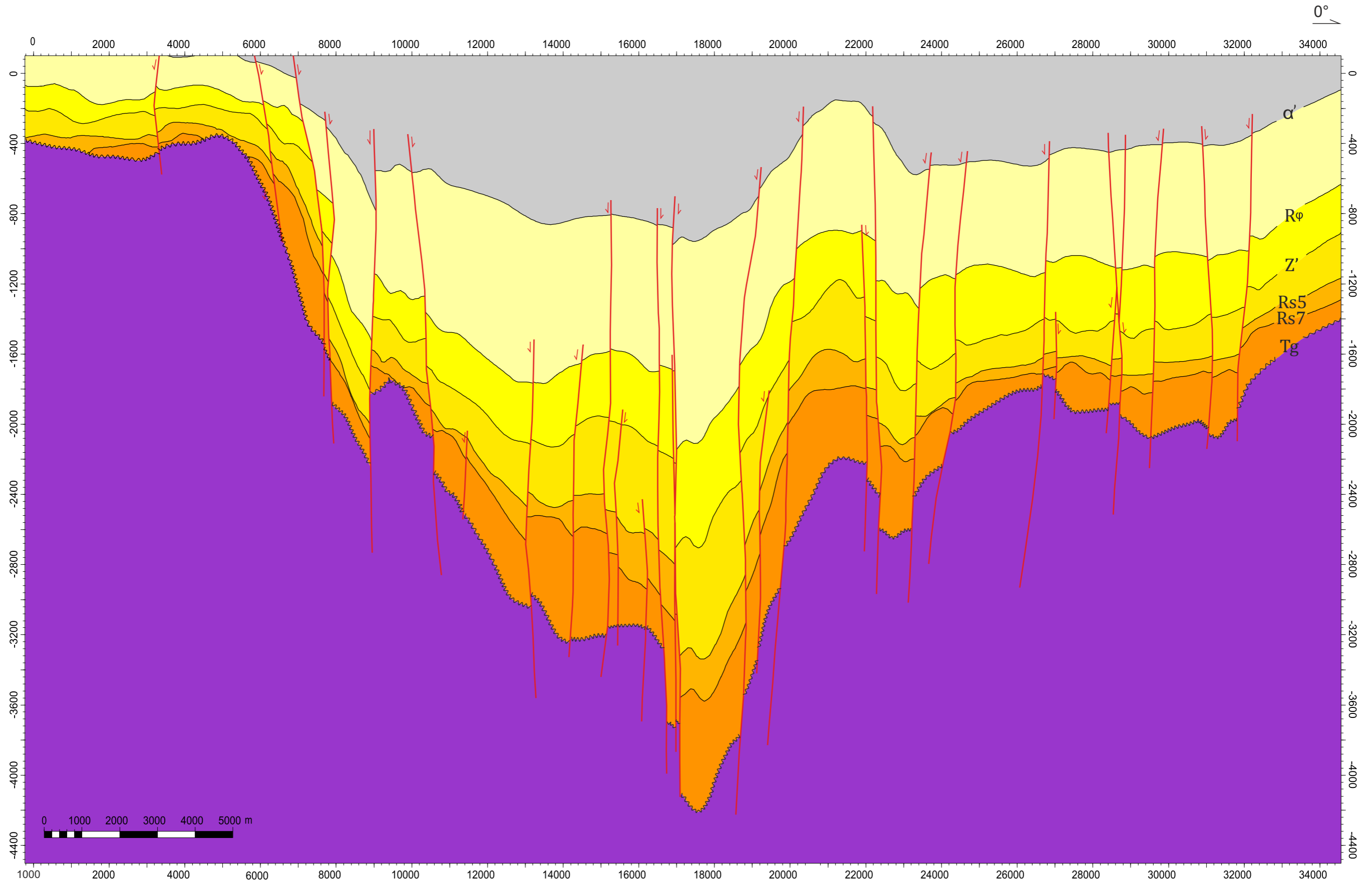
- područje modeliranja
- trasa profila
- stratoizohipse
- rasjed





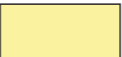


Sveučilište u Zagrebu
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET


DIPLOMSKI RAD
 Tomislav Baketarić

Prilog VI: Strukturna karta po plohi EK-markera α'

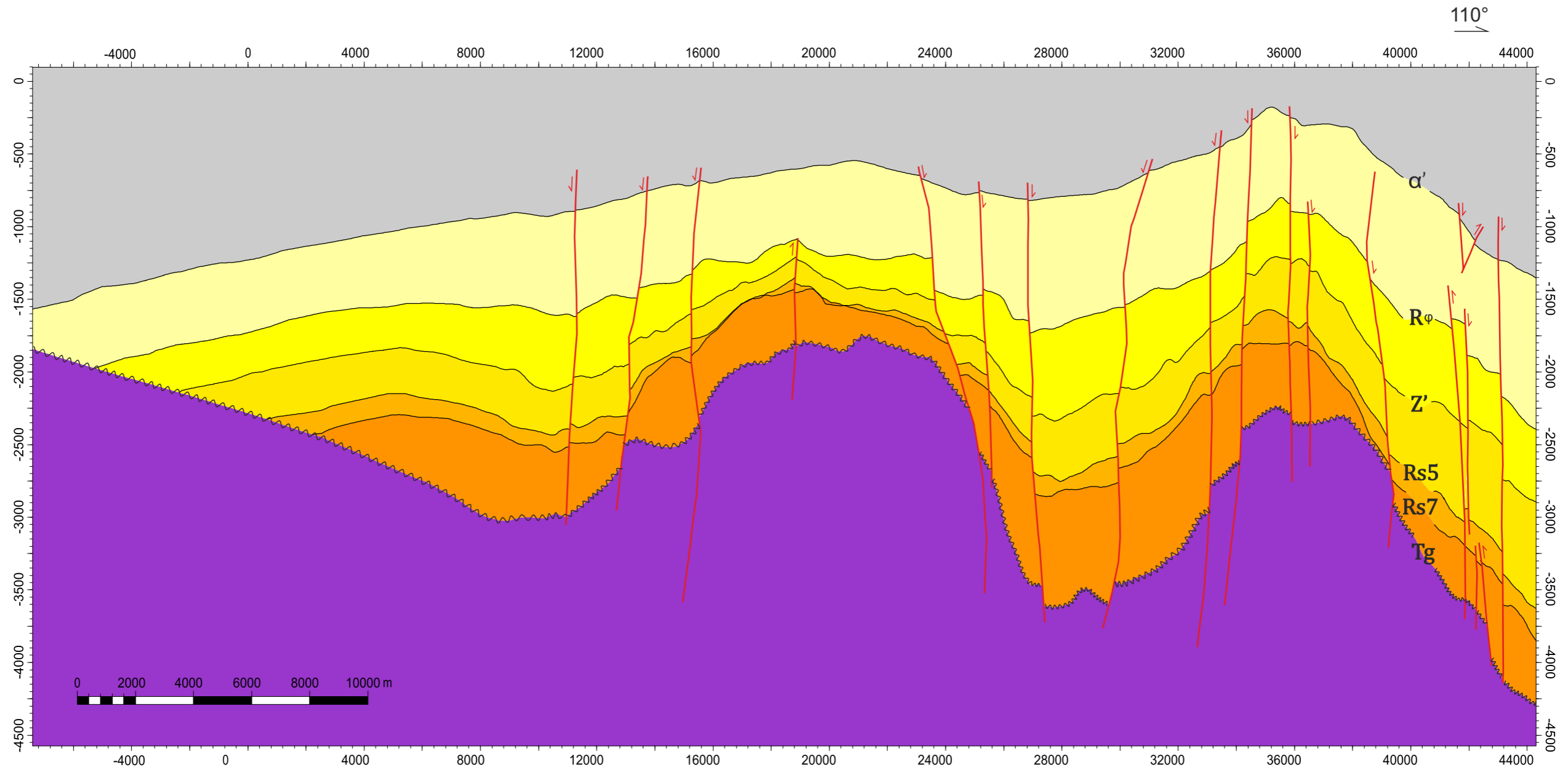
PROFIL A - A'












Legenda			
	Temeljno gorje		formacija Prečec
	formacija Kloštar-Ivanić		formacija Prkos
	formacija Široko Polje		formacija Lonja
			rasjed

 Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET	DIPLOMSKI RAD Tomislav Baketarić
	Prilog VII: Profil A - A'

PROFIL B - B'

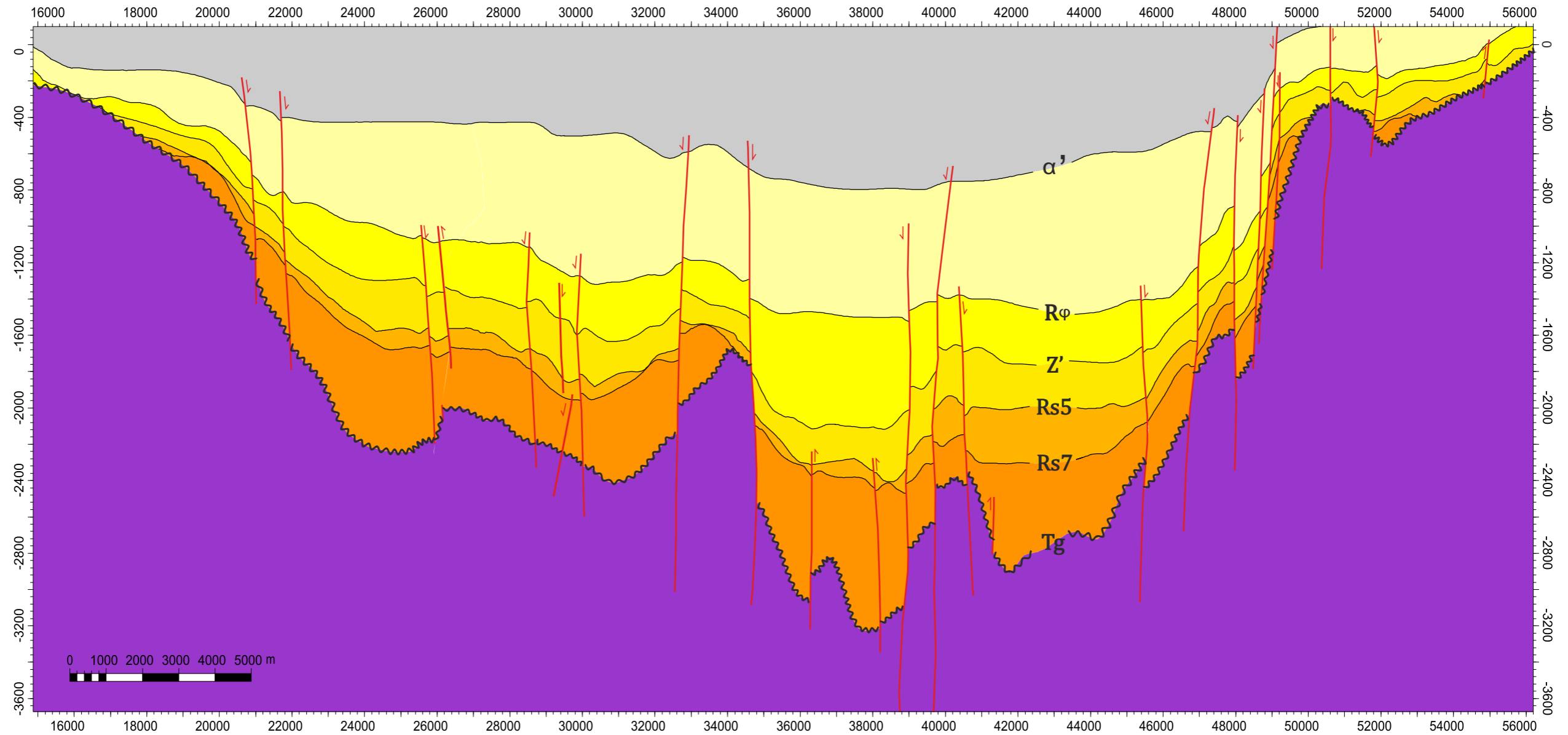








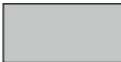

Legenda			
	Temeljno gorje		formacija Prečec
	formacija Prkos		formacija Ivanić-Grad
	formacija Kloštar-Ivanić		formacija Široko Polje
	formacija Lonja		rasjed


 Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET	DIPLOMSKI RAD Tomislav Baketarić
	Prilog VIII: Profil B - B'

PROFIL C - C'

45°



Legenda			
	Temeljno gorje		formacija Prečec
	formacija Prkos		formacija Ivanić-Grad
	formacija Kloštar-Ivanić		formacija Široko Polje
	formacija Lonja		rasjed

 Sveučilište u Zagrebu RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET	DIPLOMSKI RAD Tomislav Baketarić
	Prilog IX: Profil C - C'